การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการตรวจสอบลักษณะเด่นและทัศนวิสัย
เพื่อแสดงผลบนโทรศัพท์ไร้สาย

นายปรัชญา กอไพศาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2524-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MESH SIMPLIFICATION WITH FEATURE DETECTION AND VISIBILITY DETECTION FOR PRESENTATION ON MOBILE PHONE

Mr. Prachya Gorpaisarn

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Computer Science
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

ISBN 974-53-2524-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการตรวจสอบลักษณะเด่นและทัศนวิสัยเพื่อแสดงผลบนโทรศัพท์ไร้สาย
โดย	นายปรัชญา กอไพศาล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. พิษณุ คนองชัยยศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ) คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญชัย โสวรรณวณิชกุล) ประธานกรรมการ

.....
(อาจารย์ ดร. พิษณุ คนองชัยยศ) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ) กรรมการ

.....
(อาจารย์ ดร. เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์) กรรมการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรัชญา กอไพศาล : การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการตรวจสอบลักษณะเด่นและทัศนวิสัยเพื่อแสดงผลบนโทรศัพท์ไร้สาย(MESH SIMPLIFICATION WITH FEATURE DETECTION AND VISIBILITY DETECTION FOR PRESENTATION ON MOBILE PHONE) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร.พิษณุ คนองชัยยศ, 119 หน้า. ISBN 974-53-2524-4.

เนื่องจากเมช ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลสามมิติในรูปแบบหนึ่ง ในบางครั้งเป็นข้อมูลที่ขนาดใหญ่เกินความจำเป็น ดังนั้นจึงมีการ ลดทอนรายละเอียดของเมช ด้วยวิธีต่างๆ โดยจะทำให้เมชมีขนาดเล็กลง โดยที่รูปร่างที่ผู้ใช้เห็นยังคงไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชวิธีการหนึ่ง เพื่อสามารถนำเมชที่ได้ไปใช้แสดงผลบนโทรศัพท์ไร้สาย โดยในการลดทอนรายละเอียดของเมชนี้จะนำวิธีการตรวจสอบลักษณะเด่น มาผสมผสานกับวิธีตรวจสอบทัศนวิสัยเพื่อที่จะให้ได้ผลที่ดีและรวดเร็ว การตรวจสอบลักษณะเด่นจะเป็นการหาลำดับความสำคัญต่างๆ ของข้อมูลที่ปรากฏในเมช โดยจะลบข้อมูลส่วนที่ไม่สำคัญออกเป็นอันดับแรกออกไปก่อน ในขณะที่วิธีการตรวจสอบทัศนวิสัยจะเป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลส่วนใดของเมช ที่ผู้ใช้จะไม่สามารถมองเห็นได้จากมุมมองปกติทั่วๆไป ในระดับความละเอียดหน้าจอของโทรศัพท์ไร้สายที่ผู้ใช้ได้ใช้ แล้วก็จะทำการลบข้อมูลในส่วนนั้นๆออกไป จากนั้น เมื่อได้เมชที่ลดทอนรายละเอียดเรียบร้อยแล้ว ก็จะได้ข้อมูลที่เหมาะสม ที่จะใช้แสดงผลได้ในโทรศัพท์ไร้สายต่อไป

ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอนี้จึงสามารถลดทอนรายละเอียดของเมชได้มีประสิทธิภาพ โดยที่ยังรักษาเวลาในการทำงานไม่สูงนัก ซึ่งจะมีผลมากเมื่อกรณีที่โครงสร้างของเมชนั้น มีส่วนที่มองเห็นได้ยากอยู่ค่อนข้างมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต ปรัชญา กอไพศาล
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

4570555021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: MESH SIMPLIFICATION / VISIBILITY / FEATURE DETECTION /

PRACHYA GORPAISARN: MESH SIMPLIFICATION WITH FEATURE DETECTION AND VISIBILITY DETECTION FOR PRESENTATION ON MOBILE PHONE. THESIS ADVISOR : DR. PIZZANU KANONGCHAIYOD, 119 pp. ISBN 974-53-2524-4.

Mesh, a standard 3D-data format, sometimes can contain large unnecessary data, so there are several proposed mesh simplification methods which can simplify mesh while keeping its significant features. However, simplified mesh using previous methods still has some limitations for displaying in limited resource system such as mobile phone.

Thus, this research proposes an enhancement of mesh simplification algorithm for presentation on mobile phones by using its feature and visibility detection in order to improve its visualization performance. Feature detection algorithm is first used to compute the simplifying order ranging from the data having low necessity to the higher ones. Visibility detection algorithm is then used to compute the invisible data in a user-defined resolution of mobile screen, and the computed data is then deleted. Lastly, when the defined mesh is optimized, the data is displayed on mobile screen.

The experimental result shows that the proposed method can simplify meshes efficiently with low computational time, especially for meshes having large invisible surfaces.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Computer Engineering Student's signature .....

Field of study Computer Science Advisor's signature .....

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อ. ดร. พิษณุ คะนองชัยยศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการวิจัย และคำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างมากกับวิทยานิพนธ์นี้ ตลอดจนเป็นผู้ตรวจทานแก้ไข จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ ผศ. บุญชัย โสวรรณวณิชกุลและ อ. ดร. เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจจะสำเร็จได้หากไม่ได้รับความร่วมมือจากทุกท่าน และขอขอบคุณอาจารย์ในสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน และเพื่อนๆ ทุกๆคน ผู้ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมกับผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกคนในครอบครัว ที่คอยดูแลห่วงใย เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน จนผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5
1.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 5
1.4 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 5
2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 การลดทอนรายละเอียดของเมช 6
2.2 การวัดระดับทัศนวิสัย 7
2.3 การตรวจจับเส้นที่มีลักษณะเด่น 9
2.4 การทดสอบคุณภาพของเมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดโดยใช้อิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส 10
2.5 บลูทูธ 11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11
3 การหาค่าทัศนวิสัยและการหาเส้นขอบคม 14
3.1 การกำหนดจำนวนและตำแหน่งของกล้อง 14
3.2 การประมวลผลภาพจากกล้อง 15
3.3 การหาค่าทัศนวิสัยของรูปสามเหลี่ยม 16
3.4 การหาค่าทัศนวิสัยของเส้นขอบ 17
3.5 การสร้างข้อมูลเส้นขอบ 17
3.6 การตรวจหาเส้นขอบคม 19
3.7 การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบโดยยังไม่คำนึงถึงค่าทัศนวิสัย 21
3.8 การหาจุดยอดพิเศษ 22
3.9 การหาเส้นขอบคมพิเศษ 22

บทที่ หน้า

3.10 การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบเมื่อคำนึงถึงค่าทัศนวิสัย..... 26
3.11 ข้อสรุป..... 26
4 การลดทอนรายละเอียดของเมชและการตรวจสอบผล..... 27
4.1 ลดทอนรายละเอียดของเมช..... 27
4.2 การเลือกตำแหน่งจุดยอดใหม่หลังจากการทำการลบขอบ..... 29
4.3 การกำหนดค่าทัศนวิสัยให้แก่เส้นขอบใหม่ที่เปลี่ยนแปลง..... 31
4.4 การเตรียมข้อมูลสำหรับโทรศัพท์ไร้สาย 31
4.5 การส่งข้อมูลระหว่างโทรศัพท์ไร้สายกับเครื่องผู้ให้บริการ.....32
4.6 การทดสอบคุณภาพของเมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดโดยใช้อิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส. 32
4.7 ข้อสรุป..... 35
5 ผลการวิจัย 36
5.1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย..... 36
5.2 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง 36
5.3 ผลการทดลอง.....37
5.4 ข้อสรุป..... 89
6 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย 90
6.1 วิเคราะห์ผลการวิจัย..... 90
6.2 ลักษณะข้อมูลที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้..... 99
6.3 ข้อจำกัดและแนวทางการวิจัยต่อ..... 101
6.4 สรุปผลการวิจัย..... 102
รายการอ้างอิง 103
ภาคผนวก..... 104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 119

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 ผลการทดลอง..... 38

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 1..... 95

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 2..... 96

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 3..... 97

ตารางที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 4..... 98

ตารางที่ 6.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 5..... 99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 1.1 ภาพเมชนางอัปสร..... 3

รูปที่ 1.2 ภาพโครงข่ายเมช(wire-frame)ของนางอัปสร..... 4

รูปที่ 1.3 ภาพโครงร่างของมอร์เตอร์ 4

รูปที่ 1.4. ภาพโครงร่างของกระต่าย..... 4

รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการลดทอนรายละเอียดในพื้นที่..... 6

รูปที่ 2.2 การเลือกตำแหน่งจุดยอดใหม่หลังจากการทำการลบขอบบนระนาบสองมิติ..... 7

รูปที่ 2.3 รูปเมชและตำแหน่งต่างๆของกล้อง(ซ้าย) แผนภาพแสดงการมองเห็น (ขวา)..... 8

รูปที่ 2.4 เส้นทึบแสดงเส้นแบ่งขอบเขต..... 9

รูปที่ 2.5 การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ e ด้วยวิธีเอสโอดี..... 10

รูปที่ 2.6 การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ e ด้วยวิธีอีเอสโอดี..... 10

รูปที่ 2.9 รูปเมชที่ใช้ในงานวิจัย Visibility-Guided Simplification..... 11

รูปที่ 2.10 รูปเมชที่ใช้ในงานวิจัย An Efficient Mesh Simplification Method with Feature Detection for Unstructured Meshes and Web Graphics..... 12

รูปที่ 2.11 รูปเมชที่ใช้ในงานวิจัย3D Mesh Simplification for Effective Network Transmission..... 12

รูปที่ 2.12 รูปเมชที่ใช้ในงานวิจัย Polygonal Mesh Simplification with Face Color and Boundary Edge Preservation Using Quadric Error Metric..... 13

รูปที่ 3.1แผนภูมิการทำงาน..... 14

รูปที่ 3.2(ก) - (ง) การประมวลผลภาพจากกล้องในตำแหน่งต่างๆ..... 15

รูปที่ 3.3 แสดงการกำหนดสีให้ต่างกันในทุกๆรูปสามเหลี่ยม..... 16

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างเมช..... 18

รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานในการหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ..... 19

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการตรวจสอบเส้นแบ่งสี..... 20

รูปที่ 3.7 รูปเมชตัวอย่างที่แสดงจุดยอดต่างๆ..... 22

รูปที่ 3.8 รูปเมชตัวอย่างที่แสดงเส้นขอบต่างๆ..... 23

รูปที่ 3.9 แสดงผลจากการลบเส้นขอบ ง..... 23

รูปที่ 3.10 (ก) – (ญ) แสดงตัวอย่างผลการหาเส้นขอบคมและเส้นขอบคมพิเศษ..... 24

รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 1..... 27

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 2..... 28
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 3..... 28
รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 4..... 28
รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 5..... 29
รูปที่ 4.6 ผลในการเลือกจุดยอดใหม่..... 30
รูปที่ 4.7 การโหลดภาพต้นแบบ..... 33
รูปที่ 4.8 ทำการโหลดภาพเมชหลังจากการลดทอนรายละเอียด..... 33
รูปที่ 4.9 ภาพแสดงผลจากการเปรียบเทียบจุดสีจากทั้งสองรูป..... 34
รูปที่ 4.10 แสดงจำนวนของจุดสีที่มีความแตกต่างกัน..... 34
รูปที่ 6.1 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมกับเวลาที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นโดยลดที่ 25 %..... 90
รูปที่ 6.2 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมกับเวลาที่ใช้ในการหาค่าทัศนวิสัยของเมช..... 91
รูปที่ 6.3 กราฟภูมิเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมกับเวลาที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยโดยลดที่ 25 %..... 92
รูปที่ 6.4 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมกับเวลาที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยเปรียบเทียบกับวิธีหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวโดยลดที่ 25 %..... 93
รูปที่ 6.5 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมบนพื้นผิวของเมชเทียบกับเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล..... 94
รูปที่ 6.6 ตัวอย่างเมชที่มีเส้นขอบขนาดสม่ำเสมอ..... 100
รูปที่ 6.7 ตัวอย่างเมชที่มีเส้นขอบขนาดสม่ำเสมอหลังจากการถูกลดทอนรายละเอียด..... 101

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการใช้ภาพแบบ 3 มิติในวงการต่างๆมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นวงการแพทย์ วงการอุตสาหกรรม เป็นต้น รวมไปถึงในขณะนี้ที่เทคโนโลยีโทรศัพท์ไร้สายก็ได้พัฒนาไปมากจนสามารถคำนวณการสร้างภาพ 3 มิติบนจอโทรศัพท์ไร้สายได้ ก็ย่อมมีผู้ใช้จำนวนมากต้องการรับชมภาพ 3 มิติ ผ่านโทรศัพท์ไร้สายของพวกเขา

แต่อย่างไรก็ดี ลักษณะโครงร่างเมช (Mesh) นั้นในบางครั้งเป็นโครงร่างที่ซับซ้อนและมีรายละเอียดที่สูงมาก อย่างเช่นโครงร่างนั้นถูกสร้างมาจาก เครื่องแสกนเนอร์เลเซอร์ 3 มิติ แม้ว่าโครงสร้างนั้นจะมีข้อดีตรงที่จะให้รายละเอียดของเมชนั้นใกล้เคียงกับวัตถุจริงมาก แต่ก็ทำให้ข้อมูลที่เก็บโครงร่างเมชเหล่านี้นั้นมีจำนวนมหาศาล ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งอื่นๆหลายๆด้าน เช่น ความสามารถของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่มีไม่เพียงพอให้สามารถประมวลผลเมชนั้นๆเพื่อนำมาแสดงผลได้ หรืออาจจะเป็นการที่ต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลที่มากจนเกินไป หรือถ้าเรามีการส่งข้อมูลโครงร่างเมชผ่านทางระบบเครือข่ายต่างๆ ก็ย่อมจะส่งผลให้การส่งข้อมูลให้ครบนั้นเป็นไปอย่างล่าช้าจนเกินไป

ในขณะเดียวกันภาพโครงร่างเมชที่มีรายละเอียดสูงนั้น ไม่ใช่สิ่งที่ผู้ใช้ต้องการเสมอไป เพราะบางครั้งผู้ใช้เพียงต้องการชมภาพร่างคร่าวๆของเมชนั้นๆ ว่ามีลักษณะเด่นต่างๆเป็นอย่างไรเท่านั้น นอกจากนี้หากผู้ใช้ทำการรับชมภาพเมชผ่านโทรศัพท์ไร้สายแล้ว เนื่องจากหน้าจอของโทรศัพท์ไร้สายนั้นมีขนาดเล็ก ทำให้แม้ว่า ภาพเมชที่รับชมนั้นมีรายละเอียดที่สูง แต่ผู้ใช้ก็ไม่สามารถเห็นรายละเอียดนั้นได้ นอกจากนี้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลไปยังโทรศัพท์ไร้สายก็ยังไม่มากนัก

ในการลดทอนรายละเอียดของเมช (Mesh Simplification) [1-3] นั้น เป็นการลดรายละเอียดของเมชที่มีความสลับซับซ้อนลงอย่างอัตโนมัติ โดยมีเป้าหมายเพื่อที่จะลดจำนวนข้อมูลที่ต้องใช้ในการเก็บโครงสร้างเมชลงและพยายามรักษาลักษณะโครงสร้างโดยรวมให้ใกล้เคียงกับเมชต้นแบบให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ วิธีลดทอนรายละเอียดของเมชในส่วนใหญ่นั้นจะใช้วิธีการลบเส้นขอบ (Edge Collapse) เป็นหลัก โดยแต่ละขั้นตอนนั้น เส้นขอบหนึ่งเส้นจะถูกลดรูปให้เหลือเป็นจุดยอด (Vertex) เพียงจุดเดียว แล้วก็จะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งรายละเอียดของเมชลดจนถึงระดับที่ต้องการ

การลดทอนรายละเอียดของเมชนั้นได้ถูกนำเสนอด้วยวิธีที่หลากหลาย ตัวอย่างเช่น การลดทอนรายละเอียดของพื้นผิวด้วยการวัดความผิดพลาด [4] วิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชสำหรับการส่งข้อมูลทางเครือข่าย [5] และการแบ่งข้อมูลของพื้นผิว [6] เป็นต้นแต่วิธีการเหล่านี้

แม้ว่าจะสามารถลดรายละเอียดของเมชได้มากและมีความถูกต้องสูง แต่ก็จะใช้เวลาในการคิดคำนวณมาก ดังนั้น จึงมีการนำเสนอการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยวิธีตรวจจับลักษณะเด่น [3] ซึ่งมีการคงความถูกต้องของเมชไว้ได้ทั้งทางโครงสร้างและลักษณะเด่นต่างๆ (Appearance) เช่น สีต่างๆของเมชในแต่ละส่วน โดยวิธีนี้จะมีความรวดเร็วในการคิดคำนวณเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย แต่อย่างไรก็ดี ในบางครั้ง จะพบว่ามีเมชอยู่จำนวนหนึ่ง ที่มีโครงสร้างพื้นผิวที่มองไม่เห็นจากภายนอก หรือถูกบังอยู่ ตัวอย่างเช่น รูปที่ 1.3 โดยพื้นผิวเหล่านี้ แม้ว่าเราจะทำการลดรายละเอียดอย่างมาก ก็ไม่มีผลกระทบต่อภาพเมชที่ผู้ใช้มองเห็น ซึ่งถ้าเราใช้วิธีการลดเมชดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว พื้นผิวของเมชจะถูกคิดคำนวณโดยไม่คำนึงถึงการมองเห็นของผู้ใช้

ใน งานวิจัยของ Bing-Yu Chen [2] ได้นำเสนอแนวคิดในการลดทอนรายละเอียดของเมช โดยคำนึงถึงทัศนวิสัยของผู้ใช้ โดยทำการทดสอบการมองเห็นโดยใช้กล้องวางไปในจุดต่างๆเพื่อทดสอบว่า พื้นผิวแต่ละส่วนนั้น สามารถมองเห็นได้แค่ไหน แล้วนำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณเพื่อลดทอนรายละเอียดของเมชต่อไป แต่วิธีนี้จะใช้เวลาในการประมวลผลมาก

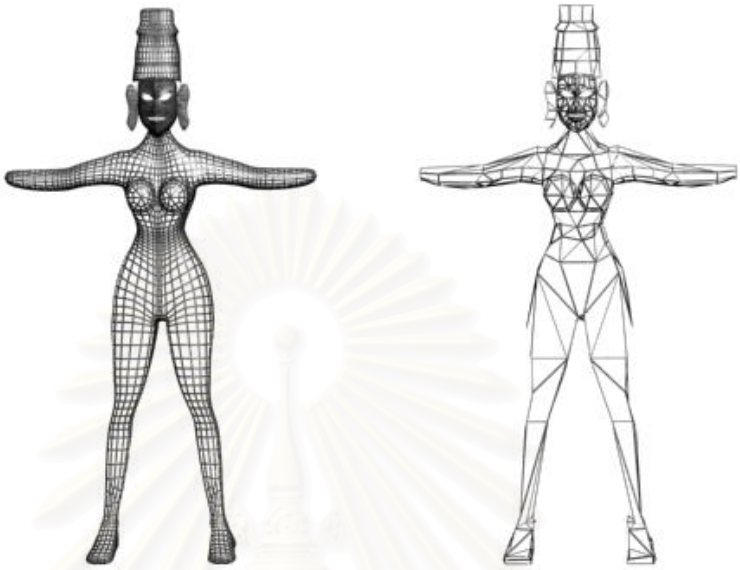
วิทยานิพนธ์นี้ จึงนำเสนอวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมช เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลเมชผ่านระบบเครือข่ายเพื่อนำไปใช้ในระบบโทรศัพท์มือถือ โดยมีความเร็วในการประมวลผลและมีขนาดของข้อมูลที่เล็ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

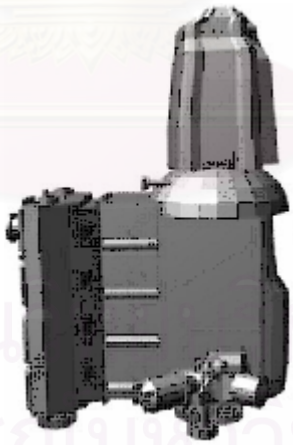
รูปที่ 1.1 ภาพเมชนางอัปสร

จากรูปภาพเมชนางอัปสรต้นแบบ ใช้จำนวนรูปสามเหลี่ยม 12,220 รูป (ซ้าย) ภาพเมชนางอัปสรที่ลดรายละเอียดลงมีขนาด 1268 รูป (ขวา) ซึ่งเมื่อเป็นเมชนามสกุล 3DS รูปซ้ายจะมีขนาดประมาณ 300 กิโลไบต์ ส่วนทางรูปขวาจะมีขนาดประมาณ 50 กิโลไบต์ ถ้าใช้โมเดม 56K ในการดาวน์โหลด รูปซ้ายต้องใช้เวลาดาวน์โหลดประมาณ 1 นาที 30 วินาที ขณะที่รูปซ้ายใช้เวลาประมาณ 20 วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.2 ภาพโครงข่ายเมช(wire-frame)ของนางอัปสร



รูปที่ 1.3 ภาพโครงร่างของมอร์เตอร์

รูปที่ 1.4. ภาพโครงร่างของกระต่าย

รูปซ้าย เมชของกระต่ายซึ่งประกอบไปด้วยรูปสามเหลี่ยม 1,451 รูป รูปขวา เมชของกระต่ายซึ่งประกอบไปด้วยรูปสามเหลี่ยม 575 รูป ซึ่งถ้าเปรียบเทียบภาพทั้ง 2 เมื่อเรานำเมช

เดียวกันมาดูในภาพที่มีความละเอียดต่ำ ความแตกต่างของทั้งสองภาพก็จะมีไม่มากนัก เมื่อเทียบกับจำนวนรูปสามเหลี่ยมที่ต่างกันมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อนำเสนอวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชโดยใช้หลักทัศนวิสัย ซึ่งจะลดทอนรายละเอียดของเมชได้มากขึ้นกว่าวิธีที่ไม่ใช้หลักการนี้โดยขึ้นกับค่าการมองเห็นโดยรวมของเมชนั้น และใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก และขณะเดียวกันยังคงลักษณะเด่นของเมชโดยรวมเอาไว้ได้

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาขั้นตอนและวิธีการลดทอนรายละเอียดเมชที่มีจนถึงปัจจุบัน

1.4.2 ศึกษาวิธีการใช้งาน Java3D

1.4.3 ศึกษาวิธีการรับส่งข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์สู่โทรศัพท์มือถือ

1.4.4 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการลดทอนรายละเอียดของเมชและส่งข้อมูลผ่านทางระบบเครือข่าย

1.4.5 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการรับข้อมูลเมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดแล้วนำมาประมวลผลภาพบนระบบโทรศัพท์มือถือ

1.4.6 ทดสอบโปรแกรม

1.4.7 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ

1.4.8 จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง “การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการตรวจสอบลักษณะเด่นและทัศนวิสัย” โดยอ. ดร. พิษณุ คนองชัยยศและนายปรัชญา กอไพศาล ในงานประชุมวิชาการ 1st National Conference on Computing and Information Technology 2005. (NCCIT2005)

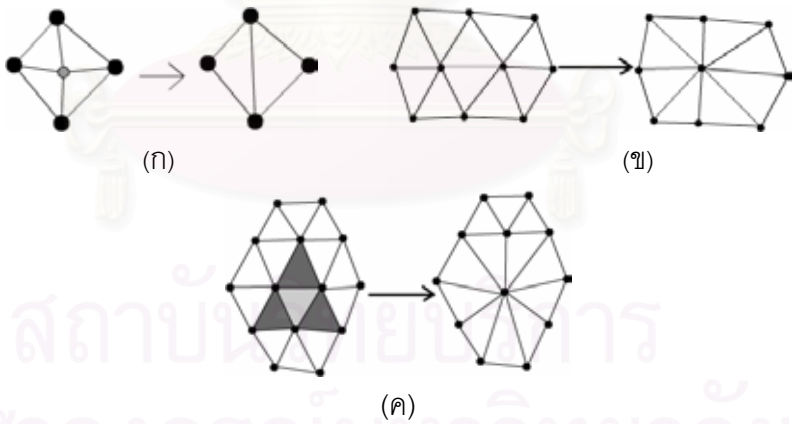
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการตรวจสอบลักษณะเด่นและทัศนวิสัยเพื่อแสดงผลบนโทรศัพท์ไร้สาย ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีเมช การลดทอนรายละเอียดของเมช การวัดระดับทัศนวิสัย การตรวจจับเส้นที่มีลักษณะเด่น การทดสอบคุณภาพของเมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดโดยใช้อิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส บลูทูธ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมไปถึงแนวคิดที่นำเสนอในงานวิจัยนั้นด้วย

2.1 การลดทอนรายละเอียดของเมช

การลดทอนรายละเอียดของเมช หมายถึง กระบวนการที่ใช้ในการลดความซับซ้อนหรือรายละเอียดของเมชโดยเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ด้วยการสร้างเมชที่มีรายละเอียดน้อยกว่าเมชเดิม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้กระบวนการลดทอนรายละเอียดในพื้นที่ (Local Simplification operations) ซึ่งมีวิธีการที่หลากหลาย เช่น การลบจุดยอด (Vertex Remove) การลบขอบ (Edge Collapse) การลบพื้นผิว (Face Collapse) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้วิธีการลบขอบในการลดทอนรายละเอียดเป็นหลัก เนื่องจากขั้นตอนไม่ยุ่งยาก และสามารถนำมาใช้ในการแก้ไขเมชให้กลับมาเป็นรูปเดิมที่มีรายละเอียดสูงได้ง่าย



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการลดทอนรายละเอียดในพื้นที่
(ก) การลบจุดยอด (ข) การลบขอบ (ค) การลบพื้นผิว

2.1.1 การลบขอบ

การลบขอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก โดยจะเป็นการนำจุดยอดที่อยู่บนขอบเดียวกันทั้งสองจุดมารวมเป็นจุดเดียวกัน กระบวนการนี้จะส่งผลกระทบต่อรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดที่อยู่รอบๆขอบนี้ โดยสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยจุดทั้งสองจุดนี้จะถูกลดรูปเหลือเส้นขอบเพียงเส้นเดียว ดังรูป 2.2

(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 2.2 การเลือกตำแหน่งจุดยอดใหม่หลังจากการทำการลบขอบบนระนาบสองมิติ
(ก) รูปตั้งต้น (ข) จุดกึ่งกลาง (ค) จุดที่เหมาะสมที่สุด (ง) จุดปลายของเส้นขอบ

สำหรับวิธีการนี้ จะต้องเลือกตำแหน่งของจุดที่เกิดขึ้นใหม่ โดยอาจจะพิจารณาตำแหน่งต่างๆได้[4]ดังนี้

2.1.1.1 จุดกึ่งกลางระหว่างสองจุด เป็นวิธีการหาตำแหน่งโดยที่ไม่เอนเอียงไปทางจุดใดจุดหนึ่ง (unbias)

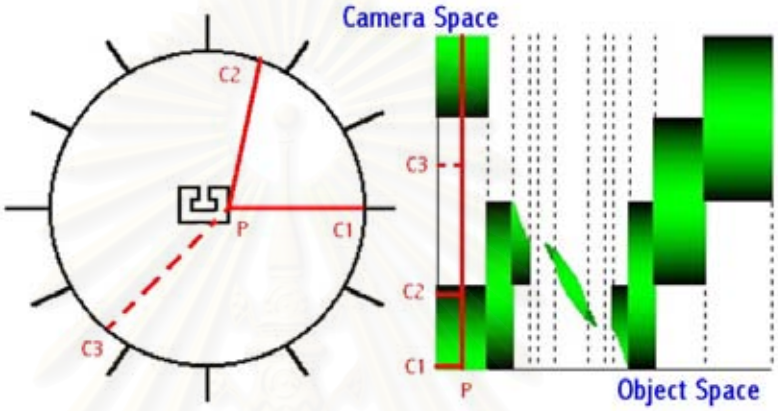
2.1.1.2 จุดที่เหมาะสมที่สุด เป็นการหาตำแหน่งของที่เหมาะสมที่สุดจุดหนึ่ง โดยใช้ตำแหน่งของเส้นโค้ง (contour curve) มาช่วยในการหาตำแหน่ง วิธีนี้ค่อนข้างเป็นที่นิยมสูง เพราะจะให้ความถูกต้องที่สูง แต่วิธีการนี้ใช้เวลาในการคำนวณสูงเช่นกัน

2.1.1.3 จุดปลายของเส้นขอบ วิธีนี้เป็นการเลือกตำแหน่งหนึ่งในสองจุดที่จะทำการรวม แล้วเลือกเอาจุดนั้นเป็นตำแหน่งใหม่ของจุดที่เกิดขึ้น

ซึ่งวิธีการแต่ละวิธีนั้นก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น จุดกึ่งกลางระหว่างสองจุด ก็จะมีข้อดีในแง่ที่ผลที่ได้จะใกล้เคียงกับของเดิม แต่การสร้างรูปเมชความละเอียดเดิมกลับมาก็จะต้องใช้ข้อมูลมาก เพราะต้องเก็บข้อมูลจุดที่ถูกลบทั้งสองจุด เช่นเดียวกันกับวิธีจุดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจุดที่ได้นั้นก็จะถือได้ไว้ดีที่สุด แต่ก็จะกินเวลาในการคำนวณมากกว่าวิธีแรก ส่วนวิธีสุดท้าย จุดใหม่ที่ได้จะไม่ค่อยทำให้เมชใกล้เคียงกับของเดิมนัก แต่ก็จะแทบจะไม่เสียเวลาในการคำนวณจุดใหม่เลย และข้อมูลที่จะใช้ในการคืนรายละเอียดก็จะเก็บเพียงแค่จุดเดียวเท่านั้น

2.2 **การวัดระดับทัศนวิสัย** (Visibility Measure Definition) [2]

เนื่องจากโครงสร้างเมชในบางครั้งนั้น ณ จุด p. จะไม่สามารถมองเห็นได้จากมุมมองในทุกๆมุม ยกตัวอย่างเช่นในรูป ที่ 2.3 ซึ่งแสดงการมองเห็นจากกล้องไปหาวัตถุ เมื่อวัตถุ M ถูกมองด้วยกล้องกล้องหนึ่งบนทรงกลม S ที่ล้อมรอบอยู่ โดยจุดกึ่งกลางของ S นั้นเป็นจุดกึ่งกลางของวัตถุ M เมื่อ p เป็นจุดที่อยู่บน M แล้ว c1, c2, c3 เป็น จุดที่วางกล้องอยู่บนวงกลม จะเห็นว่าจุด p นั้นสามารถมองเห็นได้ทั้งจากกล้อง c1 และ c2 แต่ไม่สามารถมองเห็นที่จากกล้อง c3



รูปที่ 2.3 รูปเมชและตำแหน่งต่างๆของกล้อง(ซ้าย) แผนภาพแสดงการมองเห็น (ขวา)

จากรูปที่ 2.3 นั้นแสดงทัศนวิสัยของ F (p, c) ซึ่งเราเรียกว่าแผนภาพแสดงทัศนวิสัย (Visibility Diagram) ของ M โดยแกน X นั้นแสดงถึงจุดต่างๆที่อยู่บนรูปทรงของวัตถุ ในขณะที่แกน y แสดงถึงตำแหน่งที่กล้องวางอยู่รอบๆทรงกลม โดยสี ณ จุด (p, c)นั้น แสดงถึงทัศนะวิสัยระหว่างกล้อง c กับจุด p ความเข้มของสีเขียวนั้นหมายถึง ผลคูณของ (dot product) ของทิศทางการมองของกล้อง c กับเส้นนอร์มอลของจุด p ส่วนสีขาวนั้นหมายถึงจุดนั้นไม่สามารถมองเห็นได้ ทัศนวิสัยโดยรวมของจุด p สามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$V(p) = \frac{\int_S F(p,c)(R(c) \bullet N(p))dc}{\int_S (R(c) \bullet N(p))dc} \quad (1)$$

เมื่อ V (p) เป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่กล้องสามารถมองเห็นจุด pได้ โดยระยะที่เราทำการอินทิเกรต S นั้นจะเป็นครึ่งหนึ่งของรูปทรงกลม โดยขึ้นอยู่กับเส้นนอร์มอลของจุด p โดยค่านี้จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ค่าทัศนวิสัยโดยรวมทั้งหมดของเมช M นั้นเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V(M) = \frac{\int_M V(p)dp}{\int_M dp} \qquad (2)$$

2.3 การตรวจจับเส้นที่มีลักษณะเด่น (Feature edge detection) [3][5]

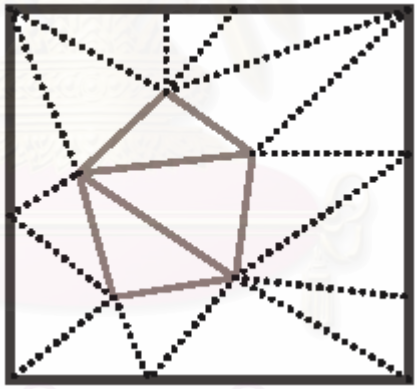
เนื่องจากในบางครั้งเมชจะมีเส้นขอบบางเส้นซึ่งไว้รักษารูปทรงหลักหรือกำหนดเป็นขอบเขตของสีในแต่และส่วน ดังนั้น หากเราทำการลบขอบเหล่านี้ออกไป จะทำให้เมชนั้นอาจเสียลักษณะเด่นนั้นไป

เส้นขอบที่มีลักษณะเด่นนั้นในงานวิจัยของ Bing-Yu Chen [3] ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1 เส้นขอบคม (sharp edge)

เส้นขอบใดๆจะเป็นเส้นขอบคมก็ต่อเมื่อมีคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งดังต่อไปนี้

ก. เส้นขอบนั้นเป็นเส้นแบ่งขอบเขต (boundary edge) ซึ่งหมายความว่าเส้นขอบ (I,j)นั้นจะมีสามเหลี่ยมเพียงรูปเดียวเท่านั้นที่ติดอยู่ ดังรูป 8



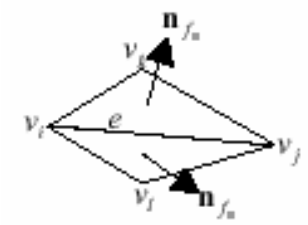
รูปที่ 2.4 เส้นทึบแสดงเส้นแบ่งขอบเขต

ข. รูปสามเหลี่ยมที่อยู่ติดกับเส้นขอบนั้นสองรูปมีค่าคุณลักษณะดิสครีตแตกต่างกัน เช่น มีสีแตกต่างกัน

2.3.2 เส้นขอบฐาน (base edge)

เส้นขอบฐานเป็นลักษณะเด่นอย่างหนึ่งของเมชซึ่งบางครั้งจะไม่ถูกจัดเป็นเส้นขอบคม การที่เราจะตรวจหาเส้นขอบฐานนั้นเราจะใช้วิธีการ อีเอสโอดี (Extended Second Order Difference –ESOD)

ซึ่งในส่วนนี้จะอธิบาย วิธีการ เอสโอดี (Second Order Difference SOD) และ ESOD ก่อน

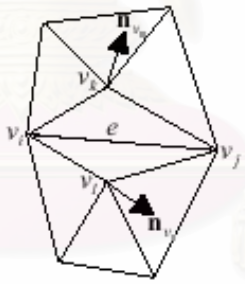


รูปที่ 2.5 การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ e ด้วยวิธีเอสโอดี

วิธีการเอสโอดีนั้นเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจหาลักษณะเด่นของเมช โดยมันจะทำการกำหนดค่าน้ำหนักสำหรับทุกๆเส้นขอบ e={I,j} ซึ่งคำนวณจากนอร์มอลเวกเตอร์ (normal vector) ของรูปสามเหลี่ยมที่อยู่ติดกัน เมื่อ $w(e) = \mathbf{n}_{vk} \cdot \mathbf{n}_{vl}$ ตัวอย่างเช่น ดังรูป 7. เมื่อ f_a={I,j,k} และ f_b = {I,l,j}เป็นรูปสามเหลี่ยมที่อยู่ติดกันกับเส้นขอบ e โดยนอร์มอลเวกเตอร์ของรูปสามเหลี่ยม f={I,j,k} หาได้จาก

$$n_f = (v_j - v_i)x(v_k - v_i) / \|(v_j - v_i)x(v_k - v_i)\| \quad (3)$$

สำหรับวิธีนี้จะไม่เหมาะสำหรับเมชที่มีรายละเอียดสูงหรือมีค่ารบกวน(noise)สูง



รูปที่ 2.6 การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ e ด้วยวิธีอีเอสโอดี

อีเอสโอดีเป็นวิธีที่พัฒนามาจากเอสโอดี โดยแทนที่จะใช้นอร์มอลเวกเตอร์ของสามเหลี่ยมที่อยู่ติดกัน เราจะใช้ค่านอร์มอลเวกเตอร์เฉลี่ยซึ่งคำนวณจาก สามเหลี่ยมที่ต่อกันเป็นวงแหวนรอบจุด v_kและ v_l ดังที่แสดงในรูป 8. ดังนั้นค่าน้ำหนักของเส้นขอบ e จะหาได้จากสมการ $w(e) = \mathbf{n}_{vk} \cdot \mathbf{n}_{vl}$ โดยที่ค่านอร์มอลเวกเตอร์ของจุดยอด v หาได้จากสมการ

$$\mathbf{n}_v = \sum_{v \in f} area(f) \cdot \mathbf{n}_f \Big/ \sum_{v \in f} area(f) \quad (4)$$

เมื่อ area(f)หมายถึงพื้นที่ของสามเหลี่ยม f

2.4 การทดสอบคุณภาพของเมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดโดยใช้อิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส (image-based root-mean-square)[2]

จากเมชต้นแบบ M_0 และเมชที่ถูกลดทอน M_i จะทำการประมวลผลภาพจากเมชทั้งสองจากมุมมองทั้งหมดยี่สิบมุมมองโดยรอบ โดยค่าความผิดพลาดของรูประหว่างรูปสองรูปคำนวณได้จาก

$$\text{RMS}\ (M_i, M_o) = \sqrt{\sum_{n=1}^{20} D_i^n} \qquad (5)$$

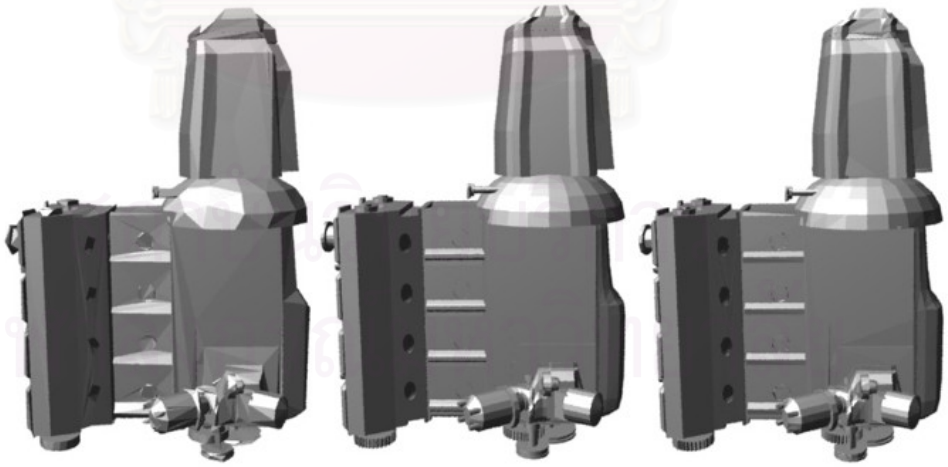
เมื่อ D^n_i เป็นค่าผลรวมยกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างจุดสีตั้งแต่รูปแรกจนถึงรูปที่ยี่สิบ

2.6 **บลูทูธ** (Bluetooth)

บลูทูธเป็นมาตรฐานการติดต่อสื่อสารข้อมูลอย่างหนึ่งซึ่งพัฒนาโดยกลุ่มที่สนใจเทคโนโลยีบลูทูธเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งมีข้อดีคือ ใช้พลังงานต่ำ สามารถสื่อสารได้ทั้งสองทาง (full duplex) และเป็นเทคโนโลยีทางคลื่นวิทยุที่สามารถมีความเร็วได้ถึง 1 Mbps โดยมาตรฐานนี้ครอบคลุมทั้งซอฟแวร์และฮาร์ดแวร์

2.7 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

2.7.1 Visibility-Guided Simplification [2] โดย Eugene Zhang และGreg Turk งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการลดทอนรายละเอียดของเมชโดยคำนึงถึงทัศนวิสัยของผู้ใช้ แต่วิธีการนี้จะใช้เวลาในการคำนวณสูงมาก โดยขึ้นอยู่กับจำนวนของสามเหลี่ยมที่ประกอบกันเป็นเมช

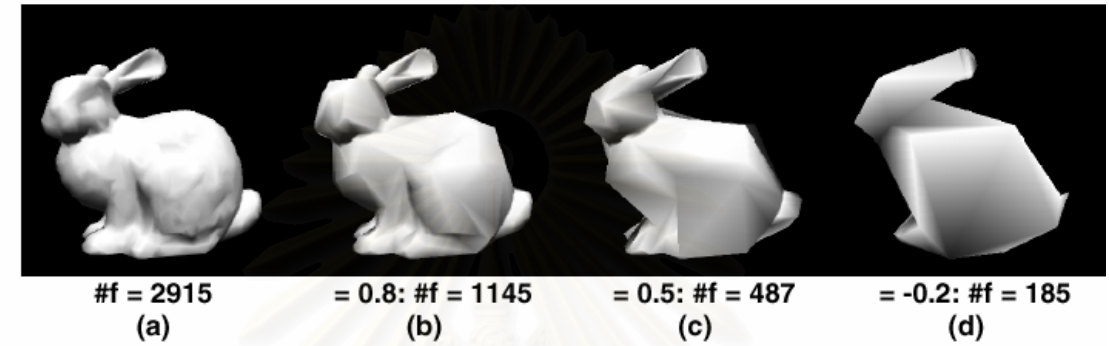


รูปที่ 2.9 รูปเมชที่ใช้ในงานวิจัย Visibility-Guided Simplification

รูปกลางเป็นเมชต้นแบบ รูปซ้าย เป็นการใช้การลดทอนรายละเอียดทั่วไปซึ่งไม่คำนึงถึงการมองเห็น รูปขวา ใช้วิธี Visibility-Guided Simplification ซึ่งมีจำนวนสามเหลี่ยมมากกว่ารูปขวา

2.7.2 An Efficient Mesh Simplification Method with Feature Detection for Unstructured Meshes and Web Graphics [3] นำเสนอโดย Bing-Yu Chen และ Tomoyuki

Nishita งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการลดทอนรายละเอียดของเมชเพื่อทำการส่งข้อมูลเมชผ่านระบบเครือข่าย โดยใช้การหาเส้นลักษณะเด่นเสมือน ซึ่งวิธีนี้จะใช้ความเวลาในการประมวลผลน้อยและสามารถคงลักษณะเด่นๆต่างๆ เช่น ขอบของเมช สีบนส่วนต่างๆของเมชได้ แต่วิธีนี้ไม่คำนึงถึงทัศนวิสัยของผู้ใช้



รูปที่ 2.10 รูปเมชที่ใช้ในงานวิจัย An Efficient Mesh Simplification Method with Feature Detection for Unstructured Meshes and Web Graphics

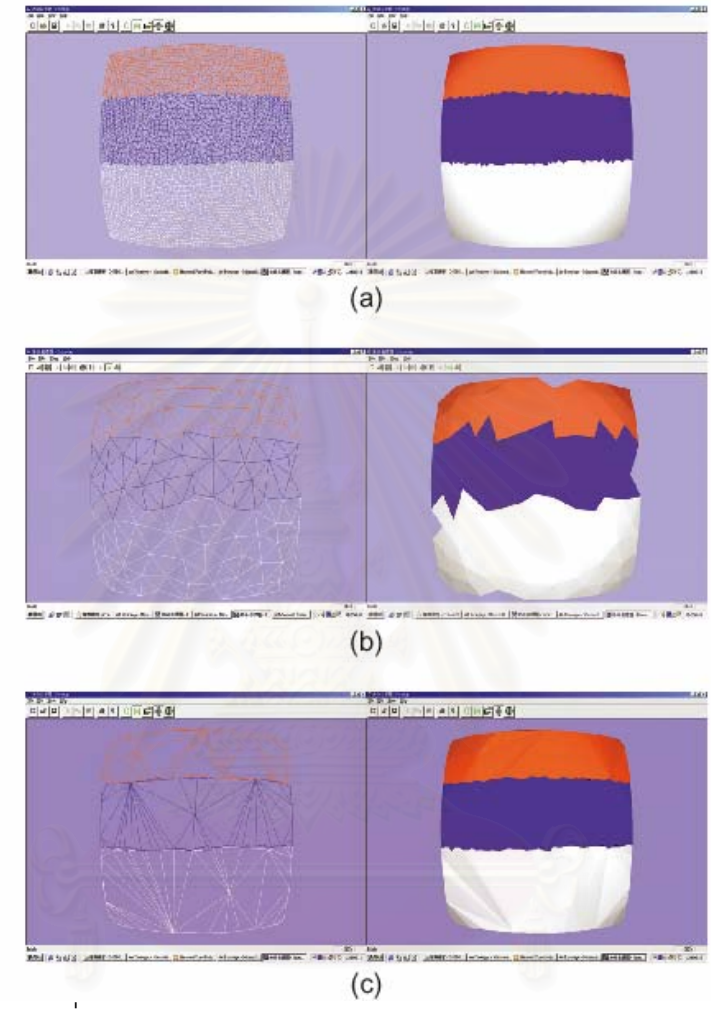
รูป (a) เป็นเมชต้นแบบ ในขณะที่รูป (b) - (d) เป็นเมชที่ถูกลดรายละเอียดด้วยค่าต่างๆกัน

2.7.3 3D Mesh Simplification for Effective Network Transmission [4] โดย Myeong-Cheol Ko และ Yoon-Chul Choy งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ edge cost function ในการหาเส้นขอบที่จะถูกลบ และการหาตำแหน่งของจุดยอดหลังจากการลบเส้นขอบ วิธีการนี้แม้ว่าจะสามารถคงโครงสร้างโดยรวมของเมชได้แต่ว่าไม่สามารถคงของลักษณะเด่นเช่น สีของเมชได้

รูปที่ 2.11 รูปเมชที่ใช้ในงานวิจัย3D Mesh Simplification for Effective Network Transmission ภาพซ้าย แสดงเมชวัวต้นแบบ ภาพขวา แสดงภาพหลังจากการลดทอนรายละเอียด โดยใช้สามเหลี่ยมประมาณ 150 รูป

2.7.4 Polygonal Mesh Simplification with Face Color and Boundary Edge Preservation Using Quadric Error Metric [5] นำเสนอโดย Chin-Shyurng Metric งานวิจัยนี้ได้

นำเสนอการรักษาสีและเส้นขอบเขตของเมชด้วยการใช้ Quadric Error Metric แต่วิธีนี้ก็ไม่คำนึงถึงทัศนวิสัยด้วยเช่นเดียวกัน



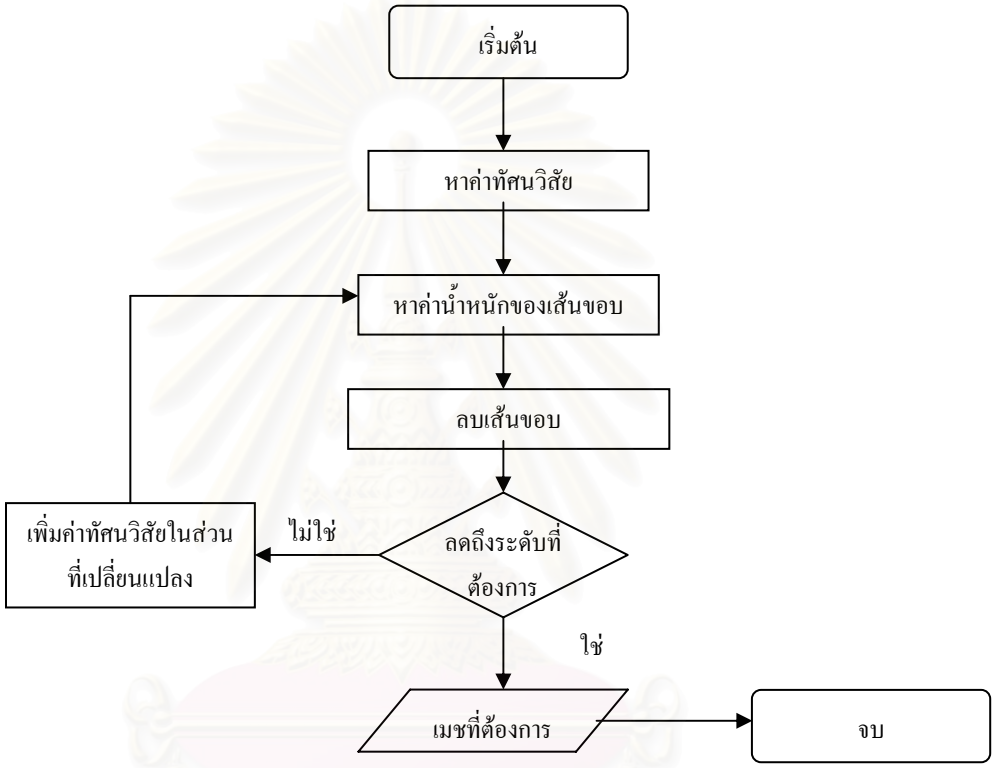
รูปที่ 2.12 รูปเมชที่ใช้ในงานวิจัย Polygonal Mesh Simplification with Face Color and Boundary Edge Preservation Using Quadric Error Metric

รูป (a) แสดงเมชต้นแบบ รูป (b) แสดงผลการลดทอนรายละเอียดของเมชโดยไม่คำนึงถึงเส้นขอบเขตและสี รูป (c) แสดงผลการลดทอนรายละเอียดของเมชโดยคำนึงถึงเส้นขอบเขตและสี

บทที่ 3

การหาค่าทัศนวิสัยและการหาเส้นขอบคม

ในบทนี้จะกล่าวถึงการหาค่าทัศนวิสัยและการหาเส้นขอบคมเป็นหลัก โดยงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการทำงานโดยรวมทั้งหมดในส่วนของการหาค่าน้ำหนักและการลดทอนรายละเอียดดังรูป



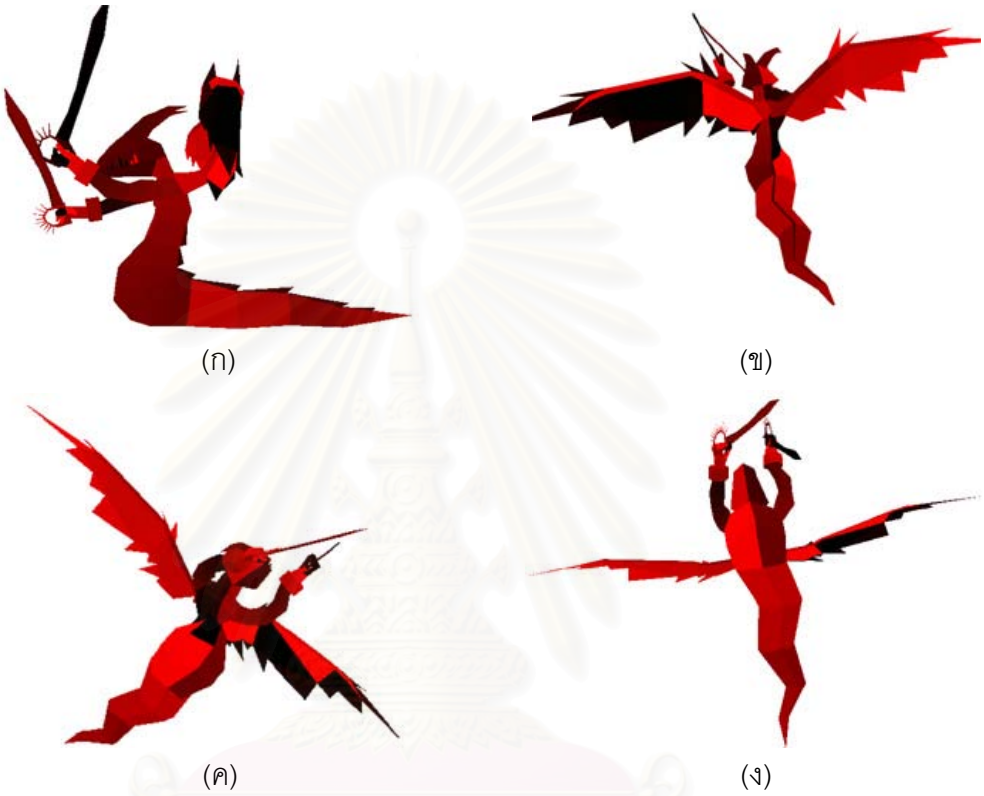
รูปที่ 3.1 แผนภูมิการทำงาน

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องทำการหาค่าทัศนวิสัยเพื่อมาเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจว่าข้อมูลส่วนใดที่ไม่มีความสำคัญหรือมีความสำคัญน้อยที่สุด โดยงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการลบขอบ ในการลดทอนรายละเอียดของเมช จึงต้องมีการคิดหาค่าทัศนวิสัยของเส้นขอบแต่ละเส้นขึ้นมา ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดจำนวนและตำแหน่งของกล้อง

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการหาค่าทัศนวิสัย โดยการประมวลผลภาพของเมชที่จะทำการลดรายละเอียด จากมุมมองต่างๆ รอบๆวัตถุ โดยจะไม่มีมุมมองที่จะขยายเข้าไปจนชนเมช หรือมีส่วนใดส่วนหนึ่งของเมชที่ล้นออกมาจากหน้าจอ ซึ่งเป็นมุมมองปกติทั่วไปของผู้ใช้ ดังนั้น การหาค่า

ทัศนวิสัย ในขั้นต้นนั้น จะต้องมีการกำหนดจำนวนของกล้องที่จะใช้ในการประมวลผล โดยเมื่อมีการกำหนดจำนวนของกล้องแล้ว ก็จะต้องมีการกำหนดตำแหน่งต่างๆของกล้องด้วย โดยวิธีการกำหนดตำแหน่งของกล้องนั้นจะทำการกระจายตำแหน่งไปรอบๆพื้นผิวทรงกลม ซึ่งเมื่อประมวลผลภาพจากกล้องต่างๆ มุมมองของภาพที่ได้จะเป็นดังตัวอย่างดังรูป



รูปที่ 3.2 (ก) - (ง) การประมวลผลภาพจากกล้องในตำแหน่งต่างๆ

เนื่องจากโดยปกติแล้วผู้ใช้จะสามารถเปลี่ยนมุมมองที่จะมองเมชได้โดยรอบอย่างอิสระ ทำให้มีมุมมองจำนวนมากที่ผู้ใช้จะดูได้ ดังนั้นในการกำหนดจำนวนของกล้องนั้น ถ้ายิ่งกำหนดจำนวนมาก ย่อมจะได้ความถูกต้องสูงมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน ก็จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลภาพมากขึ้นตามไปด้วย โดยงานวิจัยนี้ กำหนดจำนวนกล้องไว้ทั้งหมด 20 ตัวกระจายรอบโครงร่างของเมช

3.2 การประมวลผลภาพจากกล้อง

งานวิจัยนี้จะต้องนำภาพที่ได้จากการประมวลผลมาทำการหาค่าทัศนวิสัย ดังนั้น การประมวลผลภาพเพื่อนำมาใช้จึงไม่ใช่วิธีการโดยทั่วๆ ไป แต่ต้องมีการดัดแปลงให้สามารถนำมาใช้กับงานวิจัยนี้ได้ โดยก่อนที่จะทำการประมวลผลภาพจะต้องทำการกำหนดค่าสีของรูปสามเหลี่ยม

แต่ละรูปเสียใหม่ โดยการกำหนดจะต้องไม่ให้ค่าสีของสามเหลี่ยมแต่ละรูปนั้นมีค่าเท่ากันเลย เพื่อสามารถแยกแยะรูปสามเหลี่ยมแต่ละรูปออกจากกันได้ ดังตัวอย่าง

รูปที่ 3.3 แสดงการกำหนดสีให้ต่างกันในทุกๆรูปสามเหลี่ยม

โดยงานวิจัยนี้ใช้หลักในการกำหนดค่าสีของรูปสามเหลี่ยมแต่ละรูปดังนี้ สำหรับสีภาพพื้นหลัง หรือส่วนที่ไม่มีเมชแสดงอยู่ จะถูกกำหนดให้ค่าสีเป็นสีดำสนิท หรือค่าสีแดงเท่ากับ 0 สีน้ำเงินเท่ากับ 0 และสีเขียวเท่ากับ 0 จากนั้นสำหรับรูปสามเหลี่ยมแต่ละรูปจะถูกกำหนดเริ่มตั้งแต่สีแดง อย่างเช่น รูปสามเหลี่ยมรูปที่หนึ่ง ค่าสีแดงเท่ากับ 1 ค่าสีน้ำเงินเท่ากับ 0 ค่าสีเขียวเท่ากับ 0 รูปสามเหลี่ยมรูปที่สอง ค่าสีแดงเท่ากับ 2 ค่าสีน้ำเงินเท่ากับ 0 ค่าสีเขียวเท่ากับ 0 รูปสามเหลี่ยมรูปที่สาม ค่าสีแดงเท่ากับ 3 ค่าสีน้ำเงินเท่ากับ 0 ค่าสีเขียวเท่ากับ 0 รูปสามเหลี่ยมรูปที่สองร้อยห้าสิบหก ค่าสีแดงเท่ากับ 1 ค่าสีน้ำเงินเท่ากับ 0 ค่าสีเขียวเท่ากับ 1 กำหนดเช่นนี้ไปจนกระทั่งไม่มีรูปสามเหลี่ยมเหลือให้กำหนดอีก

สำหรับความละเอียดของภาพที่ใช้ในการประมวลผลในงานวิจัยนี้ จะประมวลผลด้วยภาพขนาด 176x208 จุดสี ซึ่งเป็นขนาดของหน้าจอโทรศัพท์ไร้สายที่ใช้ในการทดลอง

3.3 การหาค่าทัศนวิสัยของรูปสามเหลี่ยม

เมื่อได้ภาพตามที่ต้องการแล้ว จะนำภาพแต่ละภาพที่ได้มาตรวจสอบทีละภาพเพื่อหาค่าทัศนวิสัย ดังสมการ

$$V(p) = \frac{\textit{จำนวนของกล้องที่เห็นสามเหลี่ยม } p}{\textit{จำนวนของกล้องที่กระจายไปครึ่งรูปทรงกลม}} \qquad (6)$$

เมื่อ V(p) เป็นค่าทัศนวิสัยของสามเหลี่ยม p งานวิจัยนี้จะถือว่ากล้องเห็นสามเหลี่ยม p ก็ต่อเมื่อในภาพที่ตรวจสอบนั้นมีค่าสีที่กำหนดให้สามเหลี่ยม p นั้นอยู่อย่างน้อย 1 จุดสี ตัวอย่างเช่น หากกำหนดสีของสามเหลี่ยม p ไว้ที่ค่าสีแดงเป็น 1 สีเขียวเป็น 0 สีน้ำเงินเป็น 0 เมื่อ

ทำการตรวจสอบรูปภาพ พบว่ามีอยู่จุดหนึ่งมีค่าสีแดงเป็น 1 สีเขียวเป็น 0 สีน้ำเงินเป็น 0 จึงแสดงว่าภาพที่ได้จากกล้องนี้ มีสามเหลี่ยม p ปรากฏอยู่ สำหรับจำนวนของกล้องจากสมการนั้น ใช้จำนวนกล้องครึ่งหนึ่งของทั้งหมด เนื่องมาจากว่าตามปกติแล้ว รูปสามเหลี่ยมจะมองเห็นได้เพียงด้านเดียว ดังนั้นรูปสามเหลี่ยมที่สามารถมองได้ชัดเจนที่สุด จะสามารถมองได้จากกล้องที่อยู่ภายนั่งครึ่งทรงกลมด้านหนึ่งที่หันเข้าหาด้านหน้าของรูปสามเหลี่ยม

ดังนั้นจากสมการ 1 ค่า V(p) สูงสุดที่เป็นไปได้จะเท่ากับ 1 ซึ่งเรียกได้ว่า เห็นได้ชัดเจนที่สุด ซึ่งก็คือสามารถมองเห็นได้จากมุมมองครึ่งวงกลมของมุมมองทั้งหมด ส่วน ค่า V(p) ที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้จะเท่ากับ 0 ซึ่งแสดงว่าไม่สามารถมองเห็นได้จากมุมมองใดๆเลย

3.4 การหาค่าทัศนวิสัยของเส้นขอบ

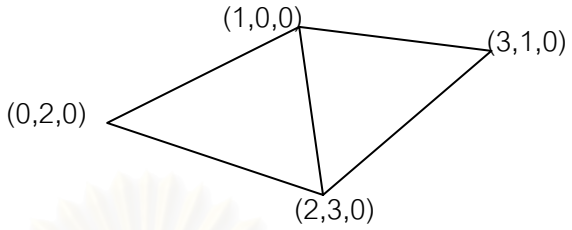
เนื่องจากว่างานวิจัยนี้ใช้การลบขอบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าความสำคัญของเส้นขอบ เพราะว่าค่าที่ได้จากสูตร (1) เป็นค่าทัศนวิสัยของรูปสามเหลี่ยม ไม่ใช่ค่าทัศนวิสัยของเส้นขอบ จึงจะต้องมีการนำค่า V(p) มากำหนดให้เส้นขอบแต่ละเส้นด้วย

เนื่องจากรูปสามเหลี่ยมหนึ่งรูป จะมีเส้นของสามเส้น ดังนั้นค่า V(p) ของรูปสามเหลี่ยม 1 รูปจะถูกกำหนดให้เป็นค่าทัศนวิสัยของเส้นขอบอีกสามเส้น ที่เป็นส่วนประกอบของสามเหลี่ยมรูปนั้น แต่สำหรับโครงสร้างของเมชสำหรับงานวิจัยนี้ จะอนุญาตให้เส้นขอบหนึ่งๆ สามารถมีรูปสามเหลี่ยมติดอยู่ได้ไม่เกินสองชิ้น และไม่ต่ำกว่า 1 ชิ้น ดังนั้นในกรณีที่มีรูปสามเหลี่ยมสองชิ้นติดอยู่กับเส้นขอบเส้นนั้น ค่าทัศนวิสัยด้านใดมากกว่าจะกำหนดให้ค่านั้นเป็นค่าทัศนวิสัยของเส้นขอบเส้นนั้นๆ

3.5 การสร้างข้อมูลเส้นขอบ

ในงานวิจัยนี้จะจัดให้เส้นที่มีลักษณะเด่นมีสองประเภทคือ เส้นขอบคม และเส้นขอบฐาน ดังนั้นจึงต้องมีการหาเส้นดังกล่าวโดยการตรวจสอบเส้นขอบทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในเมช

แต่อย่างไรก็ดี ข้อมูลโครงสร้างของเมชที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้น จะไม่มีการเก็บข้อมูลของเส้นขอบของเมชแต่อย่างใด แต่จะเก็บเป็นอันดับของจุด และรายการของสามเหลี่ยม ยกตัวอย่างโครงสร้างของเมช ดังรูป

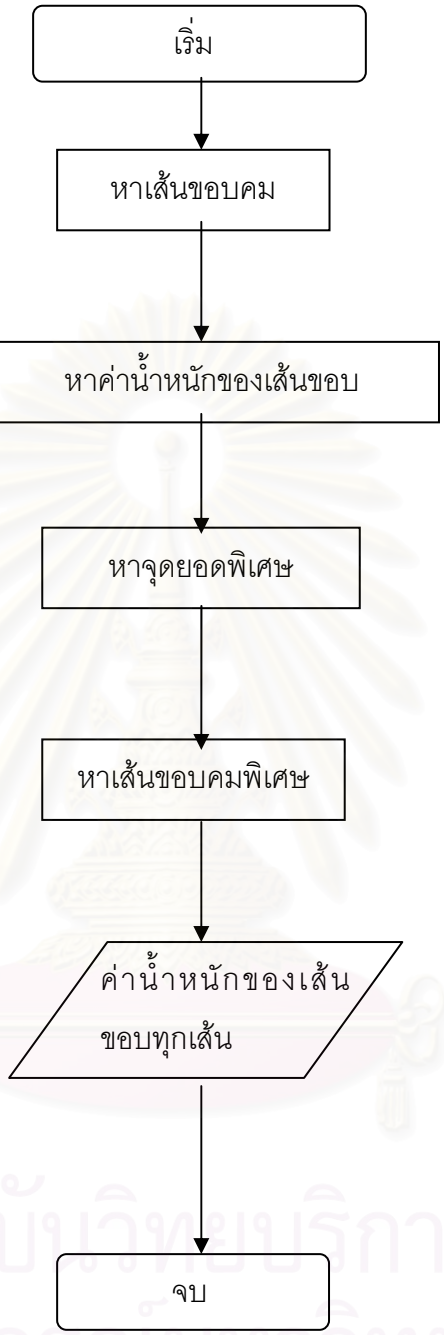


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างเมช

จากรูป โครงสร้างข้อมูลจะเริ่มเก็บจากค่าต่างๆของจุดยอดก่อนไปตามลำดับ คือ (0,2,0) ,(1,0,0) ,(2,3,0) , (3,1,0) ซึ่งข้อมูลแต่ละชุดก็จะถือเป็นอันดับของจุดยอด ตั้งแต่จุดยอดที่ 0,1 ,2 ไปจนถึง 4 จากนั้น ก็จะเก็บค่าของสามเหลี่ยมแต่ละรูปตามลำดับของจุดยอด นั่นคือสำหรับสามเหลี่ยมรูปแรก จะเป็น (0,2,1) สำหรับสามเหลี่ยมรูปที่สองจะเป็น (1,2,3)

ดังนั้นเมื่อจะเก็บเป็นชุดข้อมูลของเส้นขอบ ก็จะทำการตรวจสอบจากเส้นสามเหลี่ยมว่าประกอบด้วยจุดอะไรบ้าง เพราะฉะนั้นสำหรับสามเหลี่ยมรูปแรก (0,2,1) จะสามารถสรุปได้ว่ามีเส้นขอบดังต่อไปนี้ คือ 0-2 , 2-1, 0-1 เช่นเดียวกับสามเหลี่ยมรูปที่สอง จะสามารถสรุปได้ว่าประกอบด้วยเส้นขอบ 1-2, 2-3, 1-3

แต่จะเห็นได้ว่าเส้นขอบทั้งหมดที่ได้จากการดึงข้อมูลนั้น มีทั้งหมด 6 เส้นด้วยกัน ในขณะเดียวกันจากรูป จะเห็นได้ว่ามีเส้นขอบทั้งหมดเพียง 5 เส้นเท่านั้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากมีเส้นขอบอยู่เส้นหนึ่งที่รูปสามเหลี่ยมทั้งสองรูปใช้ร่วมกัน นั่นคือเส้น 1-2 (หรือ 2-1 ซึ่งถือได้ว่าเป็นเส้นเดียวกัน) ดังนั้นในการสร้างข้อมูลเส้นขอบออกมา จะต้องมีการตรวจสอบความซ้ำซากของข้อมูลด้วย โดยการตรวจสอบตำแหน่งจุดยอดของแต่ละเส้นขอบ ว่าซ้ำซ้อนกันหรือไม่ในทุกครั้งเมื่อมีการสร้างข้อมูลของเส้นขอบขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความซ้ำซ้อนในการคำนวณซึ่งจะส่งผลให้การคำนวณเป็นไปด้วยความล่าช้า



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานในการหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ

3.6 การตรวจหาเส้นขอบคม

เนื่องจากเส้นขอบที่ปรากฏขึ้นในเมชแต่ละเส้นนั้น มีความสำคัญไม่เท่ากัน เนื่องจากว่าเส้นขอบบางเส้นนั้น เป็นเส้นที่เป็นเหลี่ยมมุมของวัตถุ ซึ่งถ้าหากทำการลบเส้นขอบนั้นๆออกไป จะทำให้รูปทรงโดยรวมของเมชนั้นผิดเพี้ยนไปอย่างรวดเร็ว หรือบางครั้งเส้นขอบนั้นเป็นเส้นขอบที่

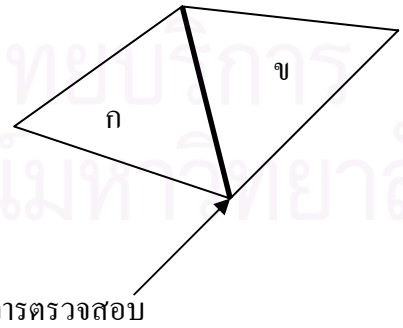
เป็นส่วนที่แบ่งสีพอดี ทำให้ถ้าหากทำการลบเส้นขอบนั้นออกไปจะทำให้สีที่ปรากฏในเมชนั้นเพี้ยนไปในทันที ดังนั้นจึงมีการกำหนดความสำคัญของเส้นขอบด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีตรวจต่างๆซึ่งจะนำเสนอต่อไป

โดยเมื่อได้ข้อมูลต่างๆของเส้นขอบมาแล้วก็จะนำมาทำการหาเส้นขอบคม ซึ่งเส้นขอบจะเป็นเส้นขอบคมได้ก็ต่อเมื่อเป็นเส้นแบ่งขอบเขต หรือเป็นเส้นที่แบ่งคุณสมบัติทางดิสครีตที่แตกต่างกัน โดยสำหรับงานวิจัยนี้จะแบ่งคุณสมบัติเฉพาะเรื่องสีเท่านั้น

งานวิจัยนี้จะตรวจสอบว่าเป็นเส้นขอบคมหรือไม่ก่อนที่จะทำการหาค่าเส้นขอบฐาน เพราะการตรวจสอบหาเส้นขอบคมจะใช้เวลาน้อยกว่าการหาเส้นขอบฐาน และถ้าเส้นใดเป็นเส้นขอบคมแล้วก็จะไม่จำเป็นต้องหาค่าเส้นขอบฐานอีก เพราะถือว่าเส้นขอบนี้มีความสำคัญสูง

เส้นขอบแต่ละเส้นจะถูกตรวจสอบได้โดยระหว่างการสร้างข้อมูลเส้นขอบ ถ้าเส้นขอบใดมีความซ้ำซากของข้อมูล แสดงว่าเส้นขอบนั้นอยู่บนรูปสามเหลี่ยมมากกว่า 1 รูป ซึ่งจะทำให้บอกได้ทันทีเลยว่าเส้นขอบนั้นไม่ใช่เส้นแบ่งขอบเขต เพราะคุณสมบัติหลักของเส้นแบ่งขอบเขตนั้นก็คือจะมีรูปสามเหลี่ยมที่เป็นเจ้าของเส้นขอบนั้นได้เพียงเส้นเดียวเท่านั้น

สำหรับการตรวจสอบว่าเส้นขอบนั้นๆเป็นเส้นแบ่งสีหรือไม่ ทำได้โดยวิธีการดังนี้ เนื่องจากโครงสร้างของเมชจะมีการเก็บค่าสีต่างๆของรูปสามเหลี่ยมอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อจะตรวจสอบเส้นขอบนั้นๆ ก็จะทำการดูว่าสามเหลี่ยมที่ติดกับเส้นขอบทั้งสองด้านนั้นมีสีอะไร แตกต่างกันหรือไม่ ดังรูป



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการตรวจสอบเส้นแบ่งสี

จากรูป เมื่อตรวจสอบเส้นขอบ ก็จะตรวจดูว่าสามเหลี่ยม ก กับสามเหลี่ยม ข มีสีที่แตกต่างกันหรือไม่ ถ้าแตกต่างกันก็จะถือว่าเส้นขอบที่ตรวจสอบนั้นเป็นเส้นแบ่งสี

ในการตรวจสอบ จะกำหนดให้แต่ละรูปสามเหลี่ยมมีค่าสีเป็น (r,g,b) เมื่อ $0 \le r,g,b \le 1$ จากนั้นจะตรวจสอบความแตกต่างของสีระหว่างพื้นผิว ก และ ข โดยถ้าค่าความแตกต่างของสีนั้นเกินค่าที่ตั้งไว้ค่าหนึ่ง (T) เราจะกำหนดให้เส้นขอบนี้เป็นเส้นขอบคม ดังสมการ

$$|r(ก) - r(ข)| + |g(ก) - g(ข)| + |b(ก) - b(ข)| > T \quad (6)$$

ค่า T สำหรับงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อตั้งค่าไม่เกิน 1 แล้วจะไม่มีผลใดๆกับการคำนวณเลย เนื่องมาจากว่า ข้อมูลเมชทั่วไปที่นำมาทดลองนั้น จะไม่มีการใช้สีบนตัวเมชแต่ประการใด และแม้จะมีการใช้สี ก็จะมีการใส่สีที่แตกต่างกันไปอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากถ้าหากผู้สร้างเมชต้องการความสวยงามของรูปแล้ว จะใช้วิธีการใส่ภาพบนพื้นผิว ซึ่งทำได้ง่ายและสวยงามกว่ามาก

3.7 การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบโดยยังไม่คำนึงถึงค่าทัศนวิสัย

เมื่อพิจารณาแล้วว่าเส้นขอบที่กำลังตรวจสอบอยู่นั้นไม่ใช่เส้นขอบคม จากนั้นก็จะทำการตรวจสอบว่าเส้นขอบนั้นเป็นขอบหรือเป็นส่วนที่เป็นคมของเมชหรือไม่ ซึ่งเส้นขอบนั้นจะเป็นขอบหรือมุมก็ต่อเมื่อวางอยู่บนรูปสามเหลี่ยมสองรูปที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน โดยยิ่งสามเหลี่ยมสองรูปทำมุมกันมากเท่าใด ก็จะทำให้เส้นขอบนั้นมีความคมมากขึ้นเท่านั้น

ดังนั้นจึงนำเส้นขอบนั้นมาทำการหาค่าน้ำหนักโดยใช้วิธีการ อีเอสโอดี ดังสมการ

$$w(e) = \mathrm{n}_{v_k} \cdot \mathrm{n}_{v_l} \quad (7)$$

เมื่อ *w(e)* หมายถึงค่าน้ำหนักของเส้นขอบ e โดยที่ค่านอร์มอลเวกเตอร์ของจุดยอด v หาได้จากสมการ(4)

$$\mathrm{n}_v = \sum_{v \in f} area(f) \cdot \mathrm{n}_f \Big/ \sum_{v \in f} area(f) \quad (8)$$

เมื่อ $area(f)$ หมายถึงพื้นที่ของสามเหลี่ยม f

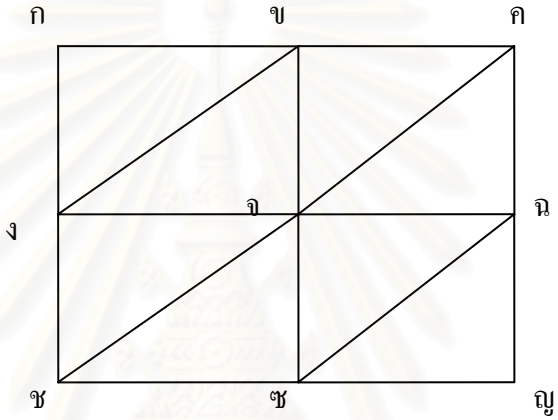
เพราะว่าจากสมการ (7) ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง [-1,1] ซึ่งค่าที่ได้เป็น 0 จะเป็นค่าที่อยู่ในลักษณะตั้งฉากในขณะที่ค่าที่ได้เป็น 1 จะอยู่ในลักษณะเป็นระนาบเดียวกัน ดังนั้นส่วนที่ตั้งฉากขึ้นไปจะอยู่ในค่าระหว่าง [-1,0] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกำหนดว่า เส้นขอบที่มีค่าน้ำหนักในช่วง [-1,0] จะเป็นเส้นขอบคมเช่นเดียวกัน จึงกำหนดเส้นนี้ให้มีค่าน้ำหนักเท่ากันกับเส้นขอบคม ดังนั้นค่าที่ไม่ได้อยู่ในช่วงนี้ก็จะกำหนดค่าน้ำหนักตามปกติ แต่ค่าดังกล่าวนี้ต้องนำไปคิดรวมกับค่าทัศนวิสัย ดังนั้นต้องมีการดัดแปลงค่านี้ให้ใช้งานได้ ดังสมการ

$$w'(e) = 1 - w(e) \quad (9)$$

ดังนั้น ถ้าค่า w'(e) เป็นศูนย์หมายความว่า เส้นขอบเส้นนี้ ประกอบด้วยสามเหลี่ยมที่มีระนาบเดียวกัน

3.8 การหาจุดยอดพิเศษ

งานวิจัยนี้จะกำหนดให้จุดยอดจุดหนึ่งเป็นจุดยอดพิเศษก็ต่อเมื่อ จุดยอดนั้นอยู่บนเส้นขอบคม

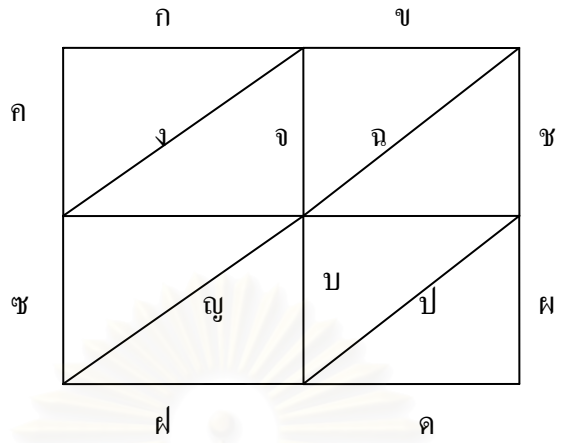


รูปที่ 3.7 รูปเมชตัวอย่างที่แสดงจุดยอดต่างๆ

จากรูป จุดยอดที่จะเป็นจุดยอดพิเศษ คือ จุด ก ข ค ง ฉ ช ซ และ ญ เนื่องจากจุดเหล่านั้นวางอยู่บนเส้นขอบคม ซึ่งเป็นเส้นขอบเขตของโครงร่างเมช ในขณะที่จุดยอด จ ไม่ได้วางอยู่บนเส้นขอบคมเส้นใดเลย จึงไม่กำหนดให้จุด จ เป็นจุดยอดพิเศษ สำหรับประโยชน์ในการหาจุดยอดพิเศษนั้น จะพบได้ในหัวข้อต่อๆไป ซึ่งจะช่วยให้การลบเส้นขอบเป็นไปได้อย่างดี

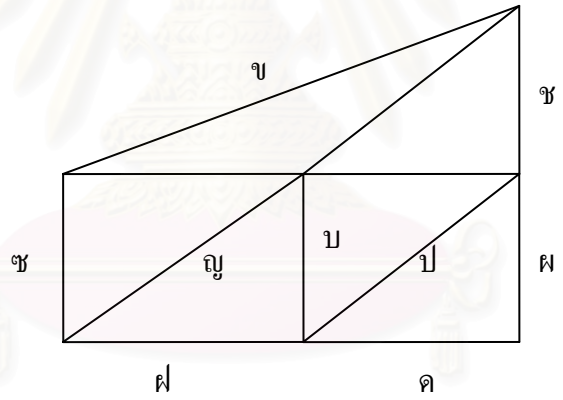
3.9 การหาเส้นขอบคมพิเศษ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาเส้นขอบคมเพิ่มเติมในส่วนของเส้นขอบคมพิเศษ เนื่องจากความสำคัญของเส้นขอบนี้มีความสำคัญมากพอๆกันหรือมากกว่าเส้นขอบคม ตัวอย่างดังรูป



รูปที่ 3.8 รูปเมชตัวอย่างที่แสดงเส้นขอบต่างๆ

เพื่อพิจารณาจากหัวข้อที่ผ่านมา จะพบว่า เส้นขอบคมคือ เส้น ก ข ค ช ซ ผ ฝ และ ด แต่เมื่อพิจารณาดูแล้วจะพบว่า หากทำการลบเส้นขอบ ง หรือ ป ก็จะมีผลกระทบต่อรูปร่างของเมชมากเช่นเดียวกัน ดังรูป

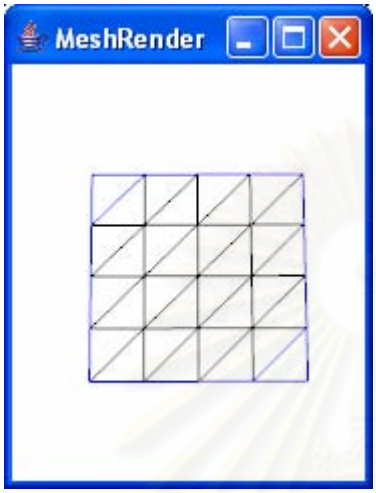


รูปที่ 3.9 แสดงผลจากการลบเส้นขอบ ง

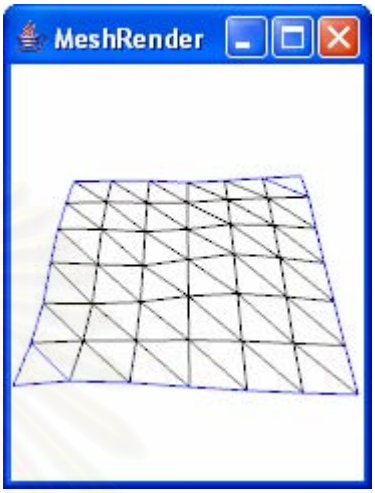
จากรูปจะเห็นได้ว่า โครงสร้างโดยรวมของเมชเปลี่ยนแปลงไปมาก ในขณะที่หากลบเส้นขอบ ญ จะไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างโดยรวมของเมช ดังนั้นความสำคัญของเส้นขอบ ง จึงควรสำคัญกว่าเส้นขอบ ญ แต่หากนำไปคำนวณหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบ (ดูวิธีการได้ที่หัวข้อถัดไป) ค่าน้ำหนักที่ได้จะเท่ากัน ดังนั้นจึงกำหนดให้เส้นขอบนี้เป็นเส้นขอบคมพิเศษ

ในการหาเส้นขอบคมพิเศษภายในเมชนั้นทำได้โดยตรวจสอบว่าจุดยอดที่อยู่บนเส้นขอบนั้นทั้งสองจุด เป็นจุดยอดพิเศษหรือไม่ หากเป็นจุดยอดพิเศษทั้งสองจุดแล้ว จะกำหนดให้เส้นขอบนี้เป็นเส้นขอบคมพิเศษ

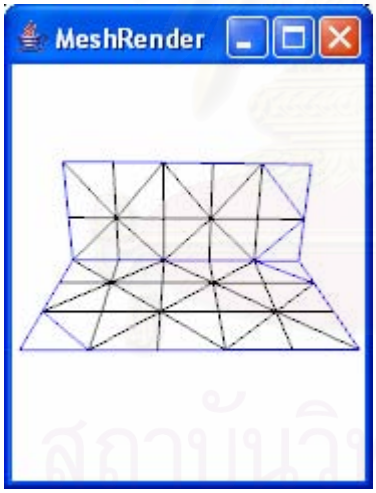
เมื่อกำหนดค่าต่างๆทั้งหมดแล้ว ก็จะได้ส่วนของเส้นขอบคม เส้นขอบคมพิเศษ ค่าน้ำหนักขอบเส้นขอบต่างๆ และจุดยอดพิเศษ ตัวอย่างผลของการหาเส้นขอบคม และเส้นขอบคมพิเศษเป็นดังรูป โดยเส้นสีฟ้าหมายถึงเส้นขอบคม หรือ เส้นขอบคมพิเศษ



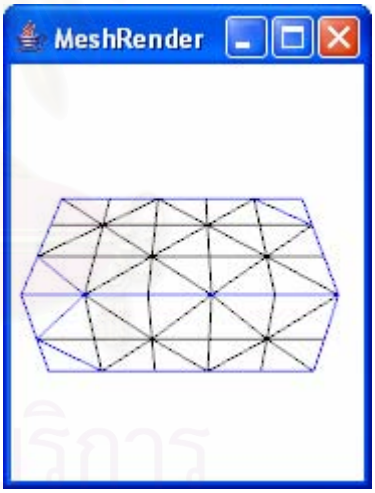
(ก)



(ข)

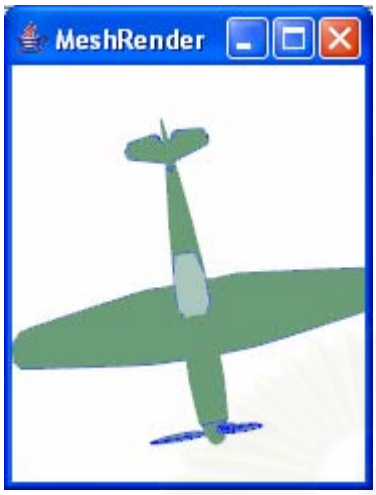


(ค)



(ง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


MeshRender

(จ)

MeshRender

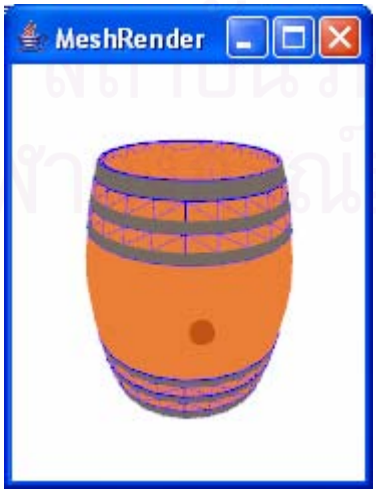
(ฉ)

MeshRender

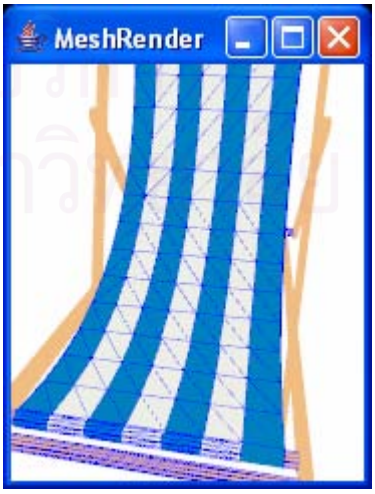
(ช)

MeshRender

(ซ)


MeshRender

(ฌ)


MeshRender

(ญ)

รูปที่ 3.10 (ก) – (ญ) แสดงตัวอย่างผลการหาเส้นขอบคมและเส้นขอบคมพิเศษ

3.10 การหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบเมื่อคำนึงถึงค่าทัศนวิสัย

หลังจากที่ได้ค่า w'(e) มาแล้ว ก็จะนำมาหาค่าน้ำหนักที่แท้จริงเมื่อนำมาคำนวณรวมกับค่าทัศนวิสัย โดยการคำนวณจะใช้สมการดังนี้

$$w''(e) = v(e) \bullet w'(e) \qquad (10)$$

เมื่อ w''(e) เป็นค่าน้ำหนักที่แท้จริงเมื่อนำมาคำนวณรวมกับค่าทัศนวิสัย

ซึ่งจากสมการ (5) จะเห็นได้ว่าค่า w'(e) จะเป็นไปได้ตั้งแต่ [0,1] โดยที่ถ้าค่าของ w''(e) มีค่าน้อย แสดงว่าเส้นขอบนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญเท่ากับค่าของ w''(e) ที่มีค่ามาก

3.7 ข้อสรุป

ในการหาค่าทัศนวิสัยจะใช้วิธีการประมวลผลภาพจากมุมมองต่างๆตามกล้องที่ได้กำหนดไว้ โดยการประมวลผลภาพจะทำการกำหนดสีของสามเหลี่ยมแต่ละรูปให้ไม่เหมือนกันเลย เพื่อที่จะตรวจสอบได้ว่าสามเหลี่ยมรูปใดที่ได้แสดงผลออกมาบ้าง แล้วนำจำนวนครั้งที่สามเหลี่ยมปรากฏมาหาค่าทัศนวิสัย ส่วนในการหาเส้นแบ่งขอบเขตจะทำได้โดยการสร้างข้อมูลของเส้นขอบขึ้นมาแล้วตรวจสอบว่าถ้าไม่มีความซ้ำซากเกิดขึ้นเส้นนั้นจะเป็นเส้นแบ่งขอบเขต มีการตรวจสอบเส้นแบ่งสี โดยนำค่าสีของสามเหลี่ยมสองรูปที่อยู่ติดกันกับเส้นขอบ มาคำนวณหา แล้วหลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้มาทั้งหมดมาทำการหาค่าน้ำหนักที่แท้จริงของแต่ละเส้นขอบต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

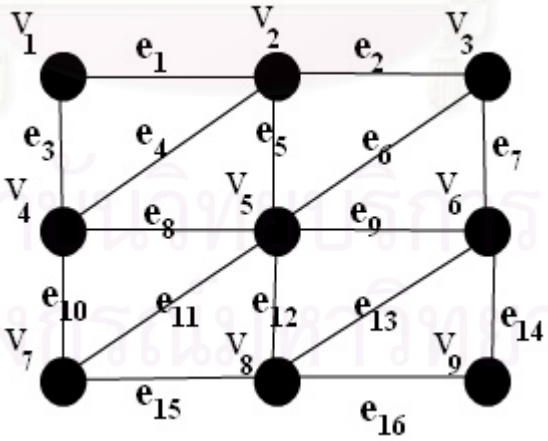
การลดทอนรายละเอียดของเมชและการตรวจสอบผล

หลังจากที่ได้ทำการหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบทั้งหมดแล้ว บทนี้ก็จะนำเสนอขั้นตอนต่อไปในการนำค่าน้ำหนักเหล่านี้ไปใช้ในการลบเส้นขอบ

4.1 ลดทอนรายละเอียดของเมช

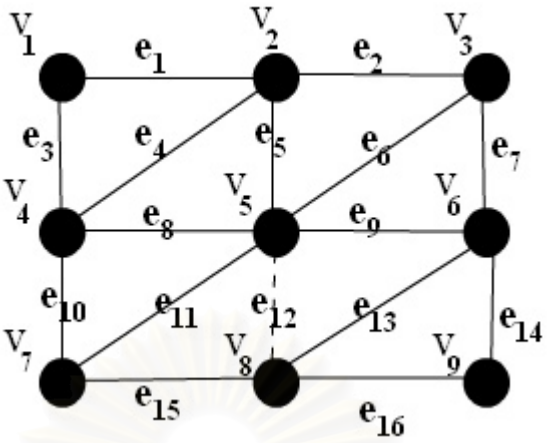
เมื่อได้ค่าน้ำหนักของเส้นขอบทั้งหมดแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะทำการเลือกความละเอียดของเมชเพื่อที่จะให้ได้ทราบว่าต้องลบเส้นขอบไปทั้งหมดกี่เส้น โดยหลักการแล้วการเลือกความละเอียดของเมชนั้นขึ้นอยู่กับผู้ใช้เป็นผู้เลือก ซึ่งสามารถเลือกได้หลากหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น เลือกเป็นเปอร์เซ็นต์ความละเอียดของเมช เช่น 50 เปอร์เซ็นต์หมายความว่าเมชที่ต้องการจะมีจำนวนจุดยอดครึ่งหนึ่งของ จำนวนจุดยอดทั้งหมดของเมชต้นแบบ หรืออาจจะเลือกโดยเลือกว่าต้องการให้เส้นขอบที่มีความสำคัญต่ำกว่าค่าค่าหนึ่งไม่ถูกนำมาแสดง เป็นต้น

จากนั้นเมื่อเลือกความละเอียดของเมชแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะทำการลบเส้นขอบ โดยงานวิจัยนี้ จะมีขั้นตอนในการลบเส้นขอบดังนี้



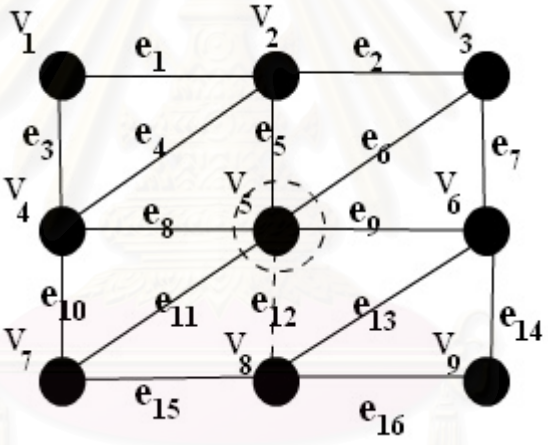
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 1

เมื่อเลือกเส้นขอบที่จะลบแล้ว โดยจากรูปตัวอย่าง จะทำการลบเส้นขอบ e_{12} จะมีสิ่งที่เกิดขึ้นดังต่อไปนี้



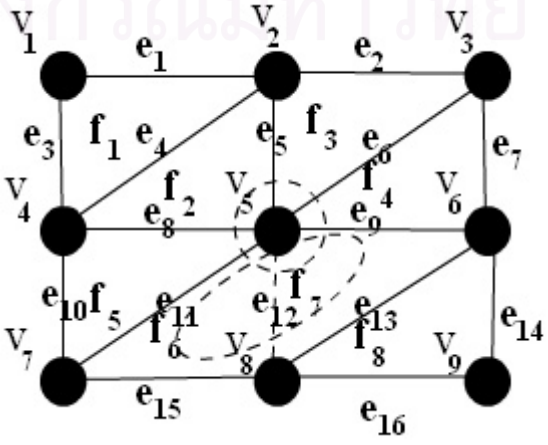
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 2

- ทำการลบเส้น e_{12}



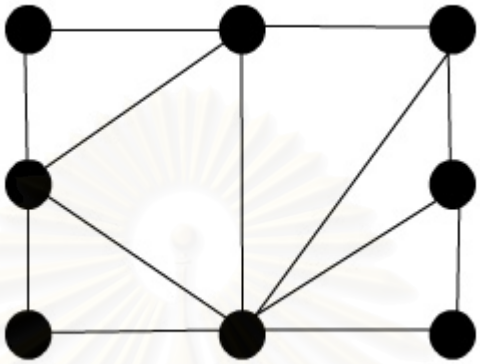
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 3

- ทำการลบจุดยอด v_5



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 4

- ทำการลบรูปสามเหลี่ยม f_6 และ f_7



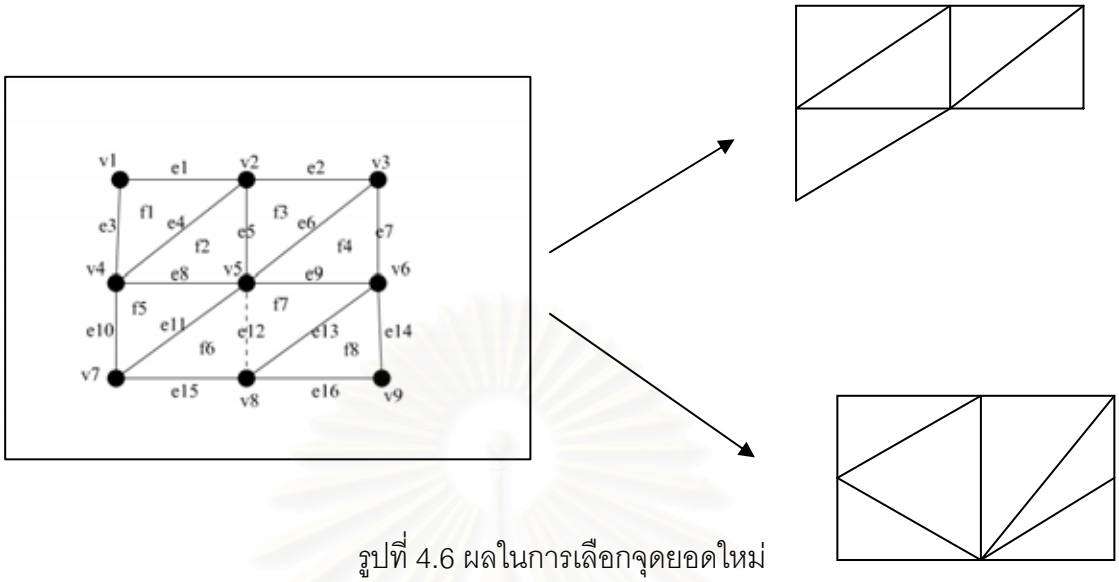
รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการลบเส้นขอบขั้นที่ 5

- ทำการแก้ไขเส้นขอบทั้งหมดที่ติดกับจุดยอด v_5 ในที่นี้คือ e_5 e_6 e_8 e_{11} และ e_9 โดยการแก้ไขจุดยอดเดิม v_5 ให้เป็น v_8
- ทำการลบเส้น e_{11} และ e_9 เนื่องจากทั้งสองเส้นนี้จะซ้ำกับเส้น e_{15} และ e_{13}
- ปรับปรุงค่าของ f_5 และ f_4 เนื่องจากมีการเปลี่ยนจุดยอดและเปลี่ยนเส้นขอบ

ในการลบเส้นขอบ จะทำการลบเส้นขอบออกไปทีละเส้นตามลำดับความสำคัญจากน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าน้ำหนักต่ำที่สุด แล้วลบต่อไปเรื่อยๆ แต่เนื่องจากว่าเมื่อเส้นขอบหนึ่งๆถูกลบไปแล้วจะเกิดเส้นขอบใหม่ขึ้นมาทุกครั้ง และเส้นขอบใหม่นี้จะต้องมีค่าน้ำหนักใหม่ด้วยเช่นเดียวกัน

4.2 การเลือกตำแหน่งจุดยอดใหม่หลังจากการทำการลบขอบ

จากรูปที่ 4.1 – 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการลบเส้นขอบโดยเลือกจุดยอดใหม่เป็นจุด v_8 จะทำให้ไม่กระทบโครงสร้างโดยรวมของเมช แต่ถ้าเลือกจุดยอดใหม่เป็น v_5 จะทำให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างเมชอย่างเห็นได้ชัด ดังรูป



รูปที่ 4.6 ผลในการเลือกจุดยอดใหม่

โดยหากเลือกจุดใหม่เป็นจุด v_5 เมื่อทำการลบเส้นขอบแล้ว จะทำให้เมชหลังจากการลบเป็นดังรูปด้านบน ในขณะที่หากเลือกจุด v_8 เป็นจุดยอดใหม่แล้ว ผลที่ออกมาจะเป็นดังรูปด้านล่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่ออกมานั้นต่างกันมาก

แต่ในบางกรณี หากจุดยอดที่เลือกระหว่างทั้งสองจุดนั้น ไม่เป็นจุดยอดพิเศษทั้งคู่ ผลของการเลือกจุดยอดใหม่นั้นไม่ว่าจะเลือกจุดใดก็ตาม ก็จะไม่มีผลกระทบต่อรูปร่างเมชหลักเลย

และในกรณีที่เส้นขอบที่จะทำการลบนั้นเป็นเส้นขอบคม จะพบว่าจุดยอดที่เราเลือกทั้งสองจุดนั้นเป็นจุดยอดพิเศษทั้งคู่ ดังนั้นในการเลือกจุดยอดใหม่จะต้องมีการตรวจสอบว่า จุดยอดใดเป็นจุดยอดที่เป็นมุมของวัตถุก่อน หากจุดยอดใดเป็นมุมแล้ว จุดยอดนั้นจะเป็นจุดยอดใหม่ เพราะหากไม่เลือกมุมเป็นจุดยอดใหม่แล้ว มุมของเมชก็ย่อมหายไป

ดังนั้นการเลือกจุดยอดใหม่ระหว่างสองจุดจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการพิจารณาจุดยอดจุดใหม่โดยคิดตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- หากจุดยอดทั้งสองจุด ไม่เป็นจุดยอดพิเศษ ให้ทำการเลือกจุดใดจุดหนึ่งเป็นยุดยอดใหม่
- หากจุดยอดทั้งสองจุดเป็นจุดยอดพิเศษ จะต้องทำขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้
  - นำเส้นขอบทุกเส้นที่ติดกับจุดยอดนั้น หาค่าน้ำหนัก สำหรับทุกๆคู่ของเส้นขอบไปจนครบ แล้วนำค่าที่ได้มาบวกกัน ซึ่งหากเส้นขอบที่วางบนนั้น

มีจำนวนเหลี่ยมอยู่มาก ย่อมทำให้ค่าที่ได้นั้นน้อยลงตามไปด้วย เนื่องจากถ้าเส้นขอบนั้นมีความเป็นเหลี่ยมมาก ค่าน้ำหนักที่ได้จะน้อย

- หลังจากนั้นให้ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้บนจุดยอดทั้งสองจุด หากจุดใดมีค่ามากกว่ากันจะกำหนดให้จุดนั้นเป็นจุดยอดใหม่
- ในกรณีที่เปรียบเทียบกันแล้วปรากฏว่าได้ค่าเท่ากัน จะแสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะเลือกจุดยอดใดเป็นจุดยอดใหม่แล้วก็จะทำให้รูปร่างของเมชเปลี่ยนไปอยู่ดี ดังนั้นก็จะเลือกจุดใดจุดหนึ่งก็ได้เป็นจุดยอดใหม่

- หากจุดยอดทั้งสองจุด มีจุดยอดจุดหนึ่งเป็นจุดยอดพิเศษ ในขณะที่อีกจุดยอดหนึ่งไม่เป็นจุดยอดพิเศษ ให้ทำการเลือกจุดยอดพิเศษเป็นจุดยอดใหม่

4.3 การกำหนดค่าทัศนวิสัยให้แก่เส้นขอบใหม่ที่เปลี่ยนแปลง

เนื่องจากหลังการทำการลบเส้นขอบแล้ว จะทำให้เส้นขอบบางเส้นเปลี่ยนแปลงไป ดังเช่นรูปที่ 4.5 ดังนั้นค่าทัศนวิสัยของเส้นขอบนั้นๆย่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นถ้าต้องการค่าทัศนวิสัยค่าใหม่ซึ่งมีความถูกต้อง ก็จะต้องทำขึ้นตอนการหาค่าทัศนวิสัยใหม่อีกครั้ง เนื่องจากว่าจากผลการทดลองจะพบว่าขึ้นตอนการหาค่าทัศนวิสัยนั้นจะใช้เวลาในการทำงานเกือบครึ่งหนึ่งของการทำงานทั้งหมด ดังนั้นหากทำการหาค่าทัศนวิสัยทุกครั้งที่ทำการหาเส้นขอบจะทำให้กินเวลาในการทำงานมาก เนื่องจากว่าการลบเส้นขอบจะทำให้เส้นขอบอื่นๆที่ได้รับผลกระทบส่วนใหญ่มีความยาวเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าทัศนวิสัยใหม่จึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอยู่เสมอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเพิ่มค่าทัศนวิสัยให้เส้นขอบที่ถูกเปลี่ยนแปลงทุกครั้งโดยเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 0.01 โดยผลลัพธ์จะต้องไม่เกิน 1.0 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดของค่าทัศนวิสัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การเตรียมข้อมูลสำหรับโทรศัพท์ไร้สาย

เมื่อทำการลดทอนรายละเอียดได้ตามที่ต้องการแล้ว ก็จะทำการเก็บข้อมูลเหล่านี้ลงไปในแฟ้มข้อมูล โดยจัดเก็บข้อมูลนี้ด้วยรูปแบบที่กำหนดไว้ โดยข้อมูลจะมีโครงสร้างดังต่อไปนี้

- ส่วนหัวของข้อมูล ในการทดลองนี้จะตั้งไว้ว่ามีค่าเท่ากับ 7

- จำนวนของจุดยอด
- ข้อมูลจุดยอด ประกอบด้วย ดัชนีของจุดยอด ตำแหน่งของจุดยอดบนแกน X ตำแหน่งจุดยอดบนแกน Y ตำแหน่งจุดยอดบนแกน Z
- จำนวนของรูปสามเหลี่ยม
- ข้อมูลของรูปสามเหลี่ยม ประกอบด้วย ดัชนีของจุดยอดจุดที่หนึ่ง ดัชนีของจุดยอดจุดที่สอง ดัชนีของจุดยอดจุดที่สาม ดัชนีของสี
- จำนวนของสี
- ข้อมูลของสี ประกอบด้วย ข้อมูลของสีแดง ข้อมูลของสีเขียว และข้อมูลของสีน้ำเงิน

4.5 การส่งข้อมูลระหว่างโทรศัพท์ไร้สายกับเครื่องผู้ให้บริการ

การส่งข้อมูลระหว่างโทรศัพท์ไร้สายกับเครื่องผู้ให้บริการในงานวิจัยนี้จะใช้ระบบบลูทูธในการส่งข้อมูล โดยใช้ภาษาจาวา และเจทูเอ็มอี ในการติดต่อส่งข้อมูล โดยจะส่งระหว่างเครื่องให้บริการ และเครื่องผู้รับบริการโดยในที่นี้คือเครื่องโทรศัพท์ไร้สาย

4.6 การทดสอบคุณภาพของเมชที่ถูกลดทอนรายละเอียดโดยใช้อิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส

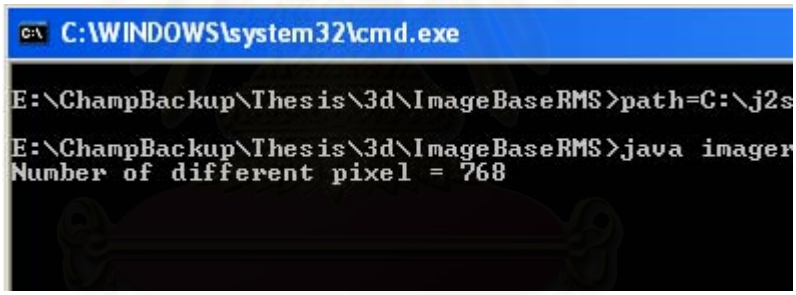
งานวิจัยนี้จะทดสอบคุณภาพของเมชที่ได้หลังจากกระบวนการด้วยวิธีอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส โดยใช้โปรแกรมอิมเมจอาร์เอ็มเอสที่พัฒนาขึ้นมา โดยมีขั้นตอนคือ โหลดภาพต้นแบบที่ประมวลผลภาพมาจากเมชต้นแบบ จากนั้นทำการโหลดภาพของเมชที่ทำการลดทอนรายละเอียดมาแล้ว โดยภาพจากทั้งสองแบบต้องเป็นมุมมองเดียวกัน อยู่ตำแหน่งเดียวกันทุกประการ จากนั้นก็จะทำการเปรียบเทียบทั้งสองภาพแบบจุดสีต่อจุดสี ที่ตำแหน่งพิกัดเดียวกัน แล้วจะได้ค่าจำนวนจุดสีที่แตกต่างกันออกมา จากโปรแกรมจะแสดงผลออกมาเป็นภาพด้วย โดยส่วนที่มีค่าสีไม่เท่ากันจะแสดงด้วยสีดำ ในขณะที่ส่วนที่เป็นสีเดียวกันจะแสดงเป็นสีขาว ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมเป็นดังรูป

รูปที่ 4.7 ทำการโหลดภาพต้นแบบขึ้นมา

รูปที่ 4.8 ทำการโหลดภาพเมชหลังจากการลดทอนรายละเอียด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.9 ภาพแสดงผลจากการเปรียบเทียบจุดสีจากทั้งสองรูป



รูปที่ 4.10 แสดงจำนวนของจุดสีที่มีความแตกต่างกัน

เมื่อทำครบยี่สิบมุมมองรอบเมชแล้ว ก็จะนำมาหาค่าคุณภาพโดยใช้สมการ

แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้พบว่า หากใช้วิธีดังกล่าวหาค่าคุณภาพแล้ว ค่าคุณภาพของภาพที่เล็กจะมีแนวโน้มที่จะได้ผลที่ดีกว่าภาพใหญ่ เนื่องจากจุดที่ต่างกันจะมีเพียงนิดเดียวเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงวิธีการหาค่า RMS ใหม่ ดังสมการ

$$RMS(M_i, M_o) = \sqrt{\sum_{i=1}^{70} DP_i^n} \qquad (11)$$

โดยที่

DP = (จำนวนสีที่ต่างกันของภาพทั้งสอง/จำนวนสีของวัตถุที่ปรากฏบนภาพ) x 100

ดังนั้น ในการหาค่า DP จะตรวจสอบว่า ส่วนใดเป็นพื้นหลัง ส่วนใดเป็นรูปวัตถุ หากพบว่าเป็นพื้นหลังเหมือนกันทั้งสองภาพ จะไม่นำจุดนั้นมารวม ในขณะที่ถ้าเป็นวัตถุทั้งสองภาพ หรือเป็นวัตถุภาพใดภาพหนึ่ง จะนำจุดเหล่านั้นมาคำนวณด้วย

4.7 ข้อสรุป

การลดทอนรายละเอียดของเมชในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการลบขอบ โดยจะต้องคำนึงถึงเส้นขอบที่จะเปลี่ยนแปลง และข้อมูลของสามเหลี่ยมบนพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย และในการลบเส้นขอบจะต้องคำนึงถึงจุดยอดใหม่ที่จะเกิดขึ้นว่า ควรจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใด เมื่อลดความละเอียดได้ถึงระดับที่ต้องการแล้ว ก็จะต้องสร้างไฟล์ข้อมูลเพื่อทำการส่งเข้าไปที่โทรศัพท์มือถือผ่านระบบบลูทูธ จากนั้นจะนำผลที่ได้มาตรวจสอบด้วยวิธีอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้ผลการทดลองโดยตรวจสอบจาก เวลาที่ใช้ในการทำงาน เปรียบเทียบกับความเหมือนกับภาพต้นแบบ โดยทดลองกับเมชชุดหนึ่ง ผลการวิจัยได้เป็นดังตาราง อย่างไรก็ตาม ภาพที่แสดงในตารางจะประมวลผลโดยกำหนดให้สามเหลี่ยมแต่ละสีมีสีที่แตกต่างกัน เพื่อให้เห็นผลการลดทอนรายละเอียดได้อย่างชัดเจน

5.1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลเมชที่มีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลของเมชที่ใช้จะประกอบด้วยข้อมูลของรายการข้อมูลของจุดยอด รายการของรูปสามเหลี่ยม รายการของการจัดกลุ่มของสามเหลี่ยม รายการค่าของสีของวัตถุ ส่วนข้อมูลอื่นๆที่มาด้วยจะไม่นำมาใช้
- เมื่อทำการตรวจสอบค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอสจะทำการ ประมวลผลภาพเมชออกมาเป็นข้อมูลภาพ ขนาด 176 คูณ 208 จุดสี

5.2 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

1) ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือประกอบด้วย

- เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หน่วยประมวลผลเพนเทียมทรี 3.0 กิกะเฮิรตซ์
- หน่วยความจำหลัก (RAM) 1 กิ๊กกะไบต์ (1 GB)
- ฮาร์ดดิสก์ (Harddisk) 80 กิกะไบต์ (80 GB)
- การ์ดแสดงผลจอภาพ (VGA Card) 32 บิต (32 bits)
- โทรศัพท์ไร้สายโซนี่อีริคสัน ดับเบิลยู 800 (SonyEricsson W800)

2) ซอฟต์แวร์ (Software)

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือประกอบด้วย

- ระบบปฏิบัติการ (Operating system) ไมโครซอฟท์วินโดวส์เอ็กซ์พี โพรเฟชชันแนล (Microsoft Windows XP Professional)
- พัฒนาเครื่องมือบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลด้วยภาษาจาวา โดยใช้เจทูเอสอี(J2SE)ในการพัฒนา

- พัฒนาเครื่องมือส่วนแสดงผลภาพสามมิติบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลด้วยจาวาทรีดี(Java3D)
- พัฒนาเครื่องมือบนโทรศัพท์ไร้สายด้วยภาษาจาวา โดยใช้เจทูเอ็มอี (J2ME)ในการพัฒนา

5.3 ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองกับเมชทั้งหมด 50 เมช จึงได้ผลดังตารางที่ 5.1 โดยตารางประกอบด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

- ความละเอียดของเมช คิดเป็นร้อยละ ของความละเอียดทั้งหมด ซึ่งคิดเป็นจำนวนชิ้นของรูปสามเหลี่ยมบนพื้นผิว
- ภาพของเมชที่ได้จากกระบวนการ เป็นภาพของเมชที่ได้จากกระบวนการลดทอนรายละเอียดของเมช
- เวลาที่ใช้ในการทำงาน เป็นเวลาที่ใช้ในกระบวนการหาค่าน้ำหนักของเมชตลอดจนขั้นตอนการลดทอนรายละเอียดของเมช มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที
- ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส เป็นค่าที่ใช้ในการวัดผลประสิทธิภาพของเมช มีหน่วยเป็นร้อยละ
- ชื่อข้อมูล เป็นชื่อของเมช
- เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์ เป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์ของเมช มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที
- จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ เป็นจำนวนรูปสามเหลี่ยมบนพื้นผิวของเมชต้นแบบ มีหน่วยเป็นชิ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลอง

ความละเอียด	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ (มิลลิวินาที)		16	39	60
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		23.44	31.90	37.09
ชื่อข้อมูล	tv			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1024			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	372			

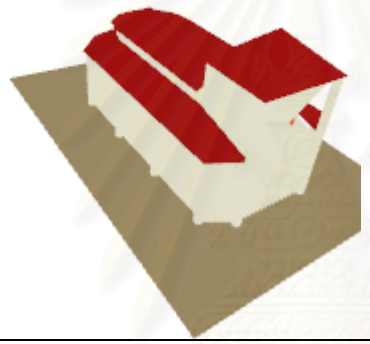
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความละเอียด	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้		20	40	94
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		4.07	7.76	34.50
ชื่อข้อมูล	ax			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1024			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	400			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความละเอียด	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		16	47	78
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		6.62	8.43	18.57
ชื่อข้อมูล	Piano_chair			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1060			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	498			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความละเอียด	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		63	47	94
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		9.24	9.73	15.16
ชื่อข้อมูล	stable			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1110			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมด	545			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความละเอียดของเมช	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		63	46	93
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		3.11	4.75	49.53
ชื่อข้อมูล	hammer			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1120			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	628			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความละเอียดของเมช	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		62	47	141
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		5.50	11.89	49.27
ชื่อข้อมูล	B2			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1120			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	700			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		125	109	281
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		3.21	3.41	6.39
ชื่อข้อมูล	claymore			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1187			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1032			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		125	109	250
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		19.60	57.96	67.98
ชื่อข้อมูล	Long_sword			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1188			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1032			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		109	109	265
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		7.28	10.49	11.68
ชื่อข้อมูล	War_ax			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1156			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1168			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		141	110	250
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		16.75	28.53	33.01
ชื่อข้อมูล	Gladiator_sword			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1203			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1180			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		140	156	329
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		10. 23	12.62	18.92
ชื่อข้อมูล	saw			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1297			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1280			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		140	141	343
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		0.70	0.81	4.60
ชื่อข้อมูล	British_carbine			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1282			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1342			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		125	141	343
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		6.09	9.48	30.63
ชื่อข้อมูล	grenade			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1343			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1388			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		125	141	360
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		2.94	3.70	19.57
ชื่อข้อมูล	buss			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1281			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1445			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		172	204	515
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		3.18	3.21	3.25
ชื่อข้อมูล	dresser			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1343			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1690			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		141	171	454
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		1.480	2.09	26.31
ชื่อข้อมูล	air			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1375			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1730			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		156	219	531
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		6.02	10.45	17.85
ชื่อข้อมูล	toothpaste			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1375			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1820			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		172	250	625
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		9.30	14.10	14.90
ชื่อข้อมูล	zodiac			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1390			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1932			

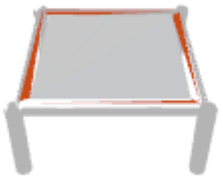
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		188	203	579
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		6.47	13.66	20.74
ชื่อข้อมูล	Kc10			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1329			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1924			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		219	250	625
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		3.35	5.53	16.36
ชื่อข้อมูล	barrel			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1375			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1948			

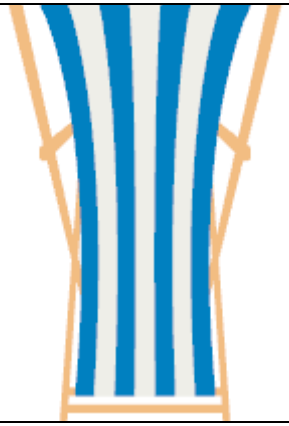
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		172	250	578
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		1.02	42.24	49.66
ชื่อข้อมูล	coffeetable			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1406			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	1928			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		578	938	1578
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส				
ชื่อข้อมูล	bandt			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1406			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	3876			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		156	234	594
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		9.12	35.38	55.57
ชื่อข้อมูล	chaielonge			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1328			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	2000			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		203	297	750
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		14.42	17.56	18.74
ชื่อข้อมูล	moon			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1375			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	2192			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	60%	80%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		219	313	703
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		31.52	32.59	54.85
ชื่อข้อมูล	Toilet2			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1391			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	2324			

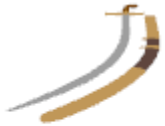
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		234	344	828
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		11.73	9.96	37.70
ชื่อข้อมูล	computer			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1407			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	2520			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		218	344	796
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		0.59	1.88	20.77
ชื่อข้อมูล	castle			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1422			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	2552			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		297	406	969
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		19.48	32.05	35.93
ชื่อข้อมูล	shamshir			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1437			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	2732			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		266	406	1031
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		4.42	12.71	41.94
ชื่อข้อมูล	mosqito			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1469			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	2792			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		500	750	1656
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		12.55	26.84	40.29
ชื่อข้อมูล	sword			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1484			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	3352			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		390	750	1781
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		4.47	28.92	40.22
ชื่อข้อมูล	townhall			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	1609			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	3542			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		687	734	1469
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		4.81	14.44	31.50
ชื่อข้อมูล	scissors			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2078			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	4062			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		735	1234	1579
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		0.43	0.60	7.50
ชื่อข้อมูล	hurricane			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2156			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	4458			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		750	1328	2797
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		6.081	6.082	6.08
ชื่อข้อมูล	cubboard			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2234			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	4532			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		812	781	1891
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		39.19	41.026	50.48
ชื่อข้อมูล	skateboard			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2281			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	4772			

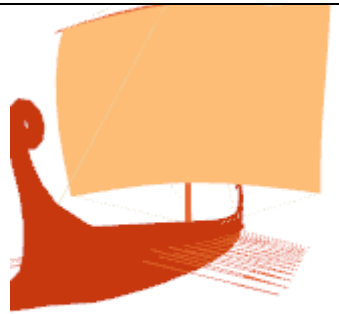
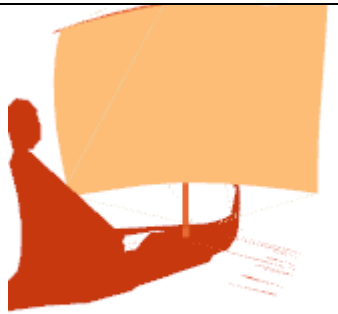
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		922	1594	3750
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		15.60	13.67	67.53
ชื่อข้อมูล	pen			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2078 2437			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	5336			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1110	1813	4203
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		9.24	19.92	28.04
ชื่อข้อมูล	Computer_desk			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2453			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	5666			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1156	1953	4781
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		21.13	14.71	22.39
ชื่อข้อมูล	bireet			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2234			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	6173			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1109	2078	4781
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		28.50	30.50	34.32
ชื่อข้อมูล	guitar			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2313 2438			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	6307			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		844	2547	5594
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		10.39	14.80	18.71
ชื่อข้อมูล	trumpet			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2453			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	6788			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		985	2309	5656
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		26.07	46.05	55.90
ชื่อข้อมูล	carl_guvstav			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2407 2422			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	6717			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		907	1343	5687
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		15.42	13.87	25.66
ชื่อข้อมูล	Office_chair			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2625			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	6893			

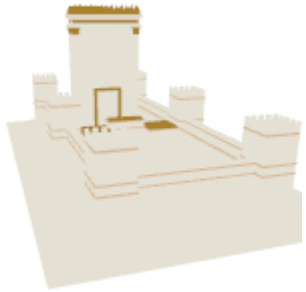
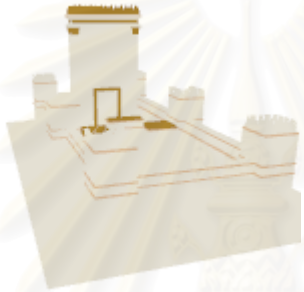
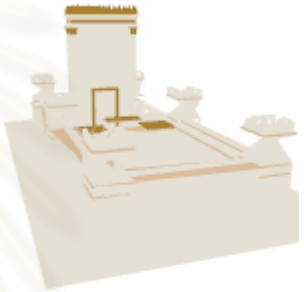
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		985	2453	5640
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		11.68	27.43	41.71
ชื่อข้อมูล	sitar			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2421			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	7000			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1140	2531	6093
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		4.58	12.36	19.74
ชื่อข้อมูล	gladiator.ms3d			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2422			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	7141			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1172	2485	6625
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		16.48	17.68	19.64
ชื่อข้อมูล	herods_temple.ms3d			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2406			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	7494			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1266	2313	6563
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		0.35	1.00	8.88
ชื่อข้อมูล	Spartan_helmet			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2687 2438			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	7840			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1015	2468	6296
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		1.90	7.71	32.48
ชื่อข้อมูล	Roman_shield			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2469			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	7876			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1203	2500	6547
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		0.20	3.93	13.82
ชื่อข้อมูล	duch_cutlas			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2719			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	7956			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1640	2969	7219
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		8.11	11.47	43.52
ชื่อข้อมูล	Field_cannon			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2250			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	8320			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1641	3219	7859
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		4.67	5.18	53.35
ชื่อข้อมูล	thomson			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2172 2313			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	8512			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	100%	80%	60%	25%
ภาพเมชที่ได้ออกมาจากกระบวนการ				
เวลาที่ใช้ในการทำงาน		1625	2422	8672
ค่าอิมเมจเบสอาร์เอ็มเอส		12.73	17.38	48.86
ชื่อข้อมูล	Grand_piano			
เวลาที่ใช้ในการหาค่าวิสัยทัศน์	2110			
จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดของรูปต้นแบบ	8357			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ข้อสรุป

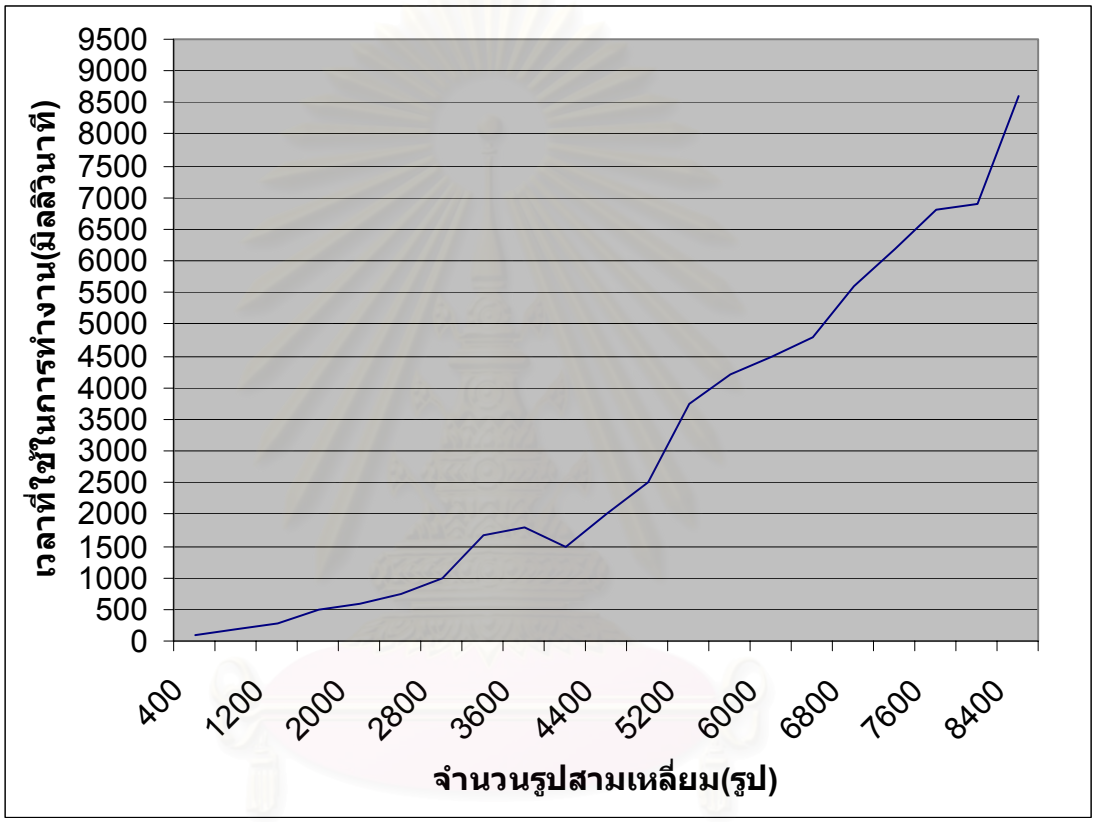
ในบทนี้ได้แสดงถึงผลการทดลองกับเมชต่างๆกันออกไป ทั้งขนาด รูปร่าง ค่าสี โดยนำผลที่ได้มาแสดงให้เห็นในตารางซึ่งประกอบไปด้วยภาพของเมชต้นแบบก่อนที่ทำการลดทอนรายละเอียด และผลของการลดทอนรายละเอียดที่ความละเอียดต่างๆกัน ตั้งแต่ 80% 60% และ 20% ทั้งยังได้แสดงถึงเวลาที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดของเมช ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนคือเวลาที่ใช้ในการหาค่าทัศนวิสัยและเวลาที่ใช้ในการหาค่าน้ำหนักและทำการลดทอนรายละเอียดของเมช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

6.1 วิเคราะห์ผลการวิจัย

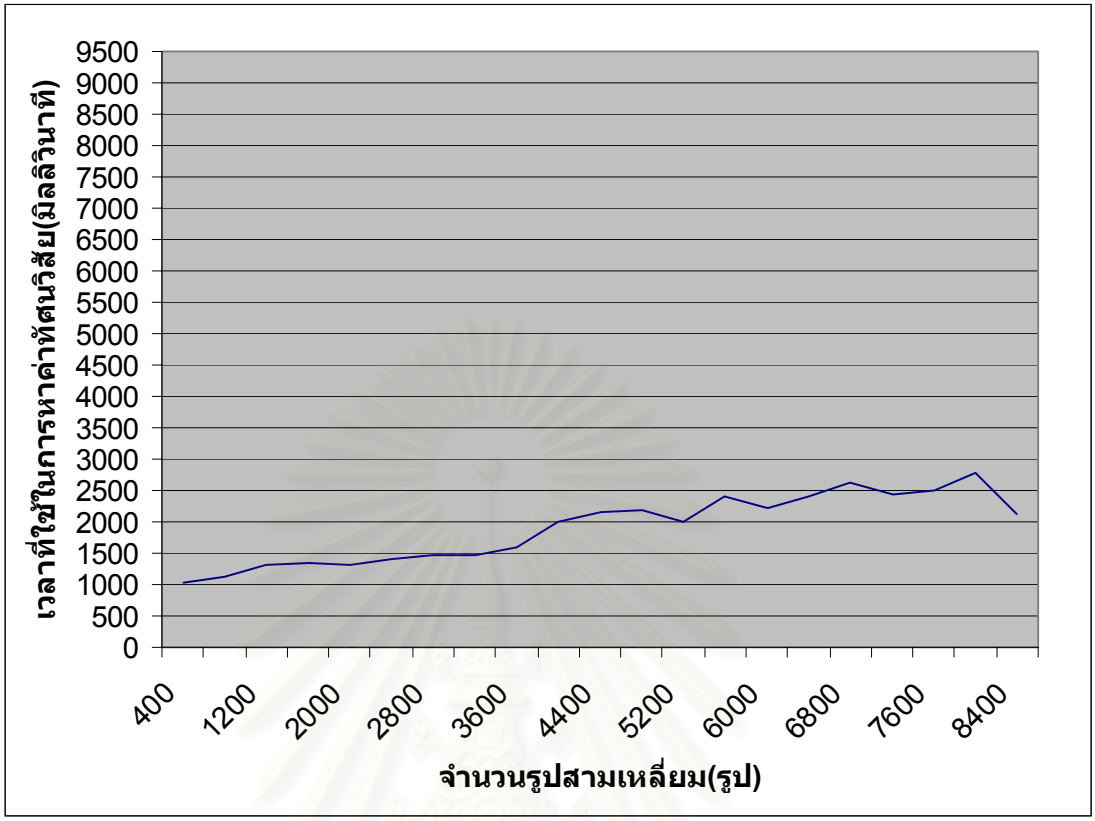
เมื่อนำค่าที่ได้จากการวิจัยนำมาวาดลงในกราฟเส้น โดยพิจารณาจากการลดทอนรายละเอียดของเมช ด้วยการหาเส้นที่มีลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียว จะได้ผลดังนี้



รูปที่ 6.1 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมกับเวลาที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นโดยลดที่ 25 %

จากรูป จะเห็นได้ว่ากราฟจะเติบโตขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล นั่นคือเมื่อเมชมีความละเอียดซับซ้อนมากขึ้นจะทำให้ต้องเวลาในการทำงานสูงขึ้นมาก

เมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการหาค่าทัศนวิสัยกับเมชที่มีจำนวนรูปสามเหลี่ยมต่างๆกันนำมาวาดลงในกราฟจะได้กราฟเป็นดังนี้

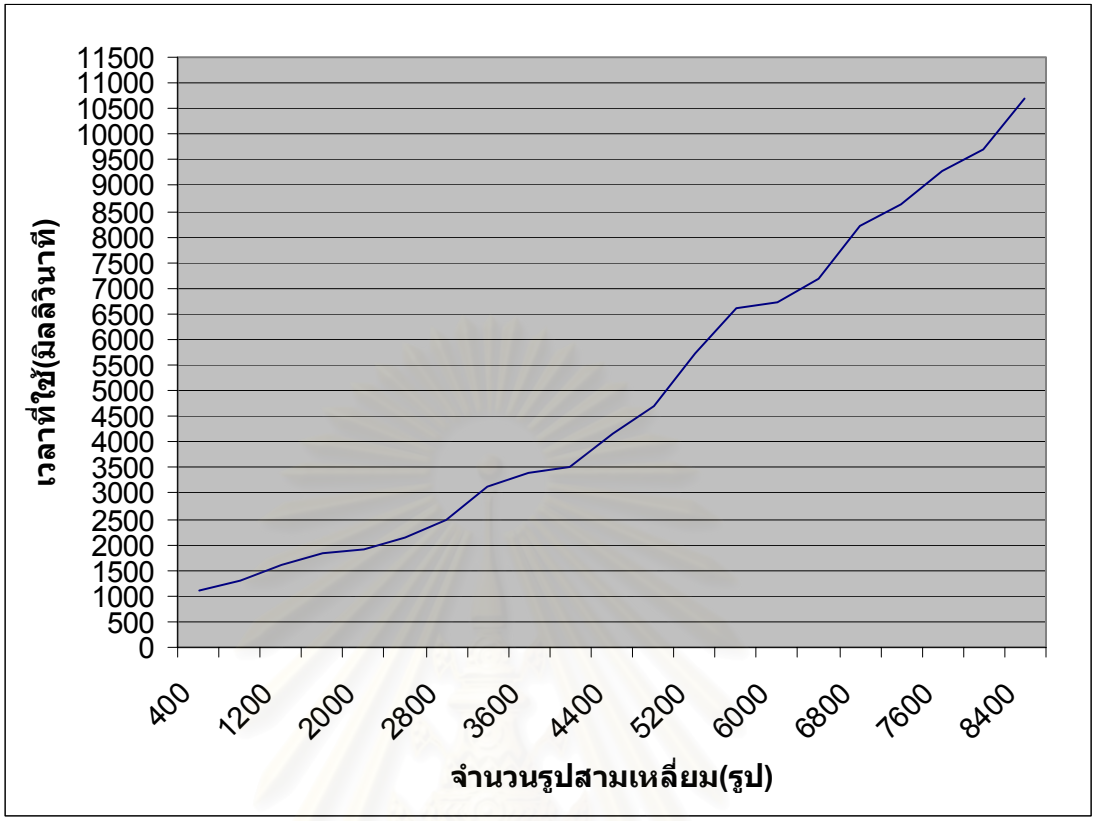


รูปที่ 6.2 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมกับเวลาที่ใช้ในการหาค่าทัศนวิสัยของเมช

จากรูปจะเห็นได้ว่าถ้าใช้เมชที่มีจำนวนรูปสามเหลี่ยมในช่วง 0 – 9000 รูปแล้ว กราฟจะเติบโตค่อนข้างช้ามากโดยเป็นกราฟเชิงเส้นที่มีความชันต่ำจนเกือบจะเป็นค่าคงที่

เมื่อนำค่าที่ได้จากการวิจัยนำมาวาดลงในกราฟเส้น โดยพิจารณาจากการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นที่มีลักษณะเด่นร่วมกันกับการหาค่าทัศนวิสัย จะได้ผลดังรูป

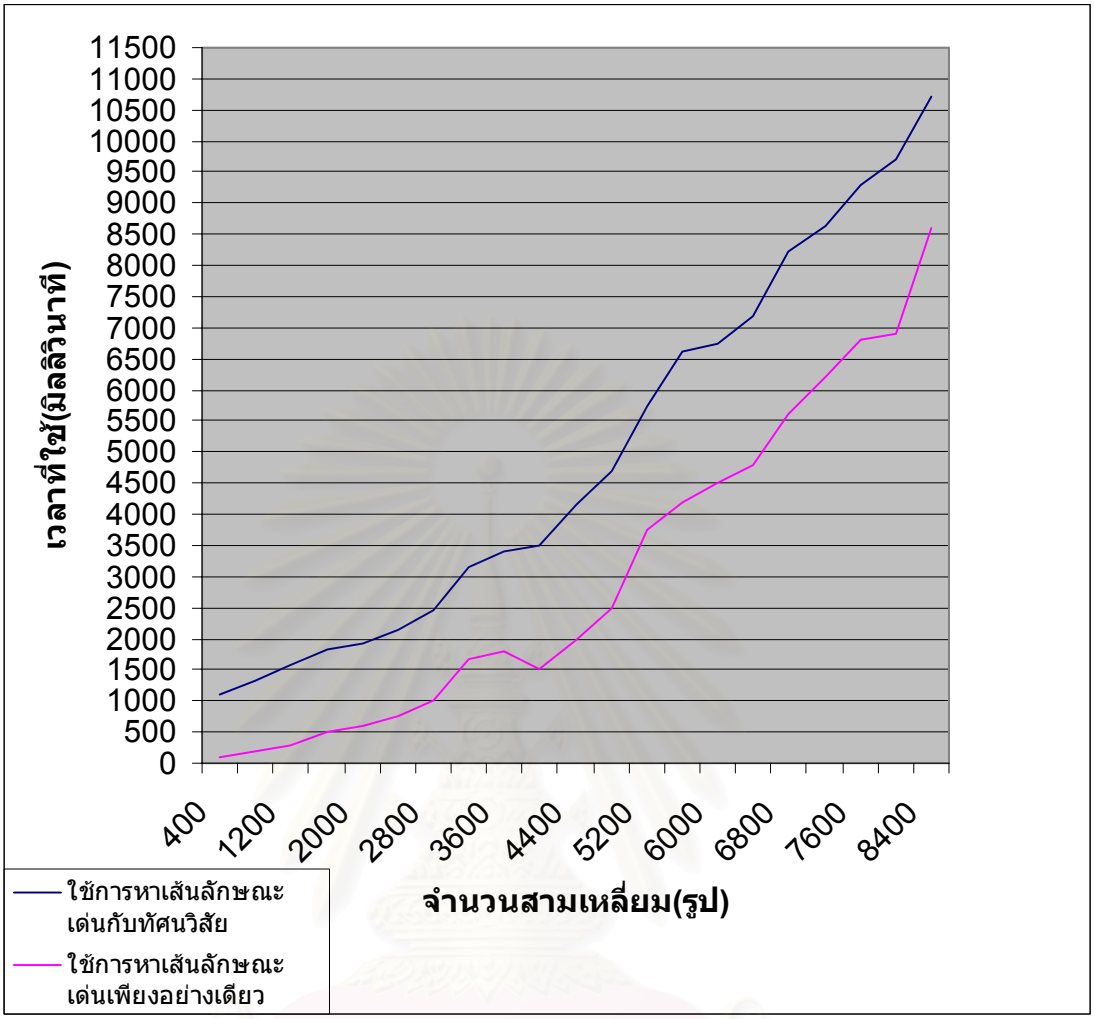
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมกับเวลาที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยโดยลดที่ 25 %

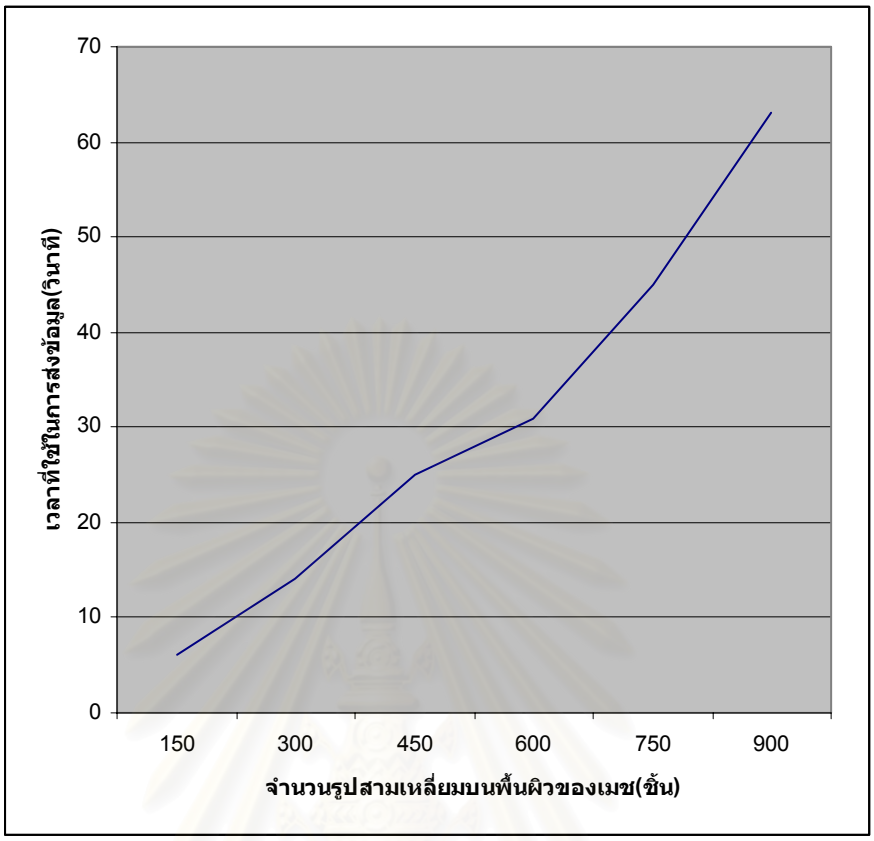
จากรูปจะเห็นได้ว่ากราฟนี้มีการเติบโตในลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 6.1 ดังนั้น หากนำวิธีทั้งสองมาวาดในกราฟอันเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบ จะได้กราฟดังรูป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.4 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมกับเวลาที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยเปรียบเทียบกับวิธีหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวโดยลดที่ 50 %

เมื่อนำผลที่ได้ไปทดสอบส่งข้อมูล จากเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบโทรศัพท์ไร้สาย เมื่อวัดจากเวลาที่ใช้ในการส่งเทียบกับจำนวนรูปสามเหลี่ยมบนพื้นผิวของเมช จะได้ผลดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 6.5 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูปสามเหลี่ยมบนพื้นผิวของเมชเทียบกับเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล

จากรูป จะพบว่าเมื่อรูปมีจำนวนรูปสามเหลี่ยมเพิ่มขึ้น จะให้ทำเวลาที่ใช้ในการส่งยิ่งมากขึ้นอย่างรวดเร็วตามไปด้วย การลดทอนรายละเอียดของเมชจึงมีส่วนช่วยในการลดเวลาในการส่งข้อมูลค่อนข้างมาก

จากรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่าหากใช้ค่าทัศนวิสัยเข้ามาด้วยจะทำให้เวลาที่ใช้เพิ่มขึ้นจากเดิมไม่มากนักเมื่อนำวิธีการทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 1

	รูปต้นแบบ	การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัย	วิธีหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียว
ค่าทัศนวิสัย	0.20		
รูป			
ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน(%)	-	13.62	27.87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 2

	รูปต้นแบบ	การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัย	วิธีหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียว
ค่าทัศนวิสัย	0.42		
รูป			
ค่าผิดพลาดเฉลี่ย(%)	-	28.00	34.43

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 3

	รูปต้นแบบ	การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัย	วิธีหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียว
ค่าทัศนวิสัย	0.02		
รูป			
ค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง(%)	-	24.62	56.041

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 4

	รูปต้นแบบ	การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัย	วิธีหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียว
ค่าทัศนวิสัย	0.10		
รูป			
ค่าผิดพลาดเฉลี่ย(%)	-	29.317756623273574	29.978831009558675

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัยกับการหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวตารางที่ 4

	รูปต้นแบบ	การลดทอนรายละเอียดของเมชด้วยการหาเส้นลักษณะเด่นกับการหาค่าทัศนวิสัย	วิธีหาเส้นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียว
ค่าทัศนวิสัย	0.75		
รูป			
ค่าอินเวอร์สเมอร์(%)	-	29.31	29.97

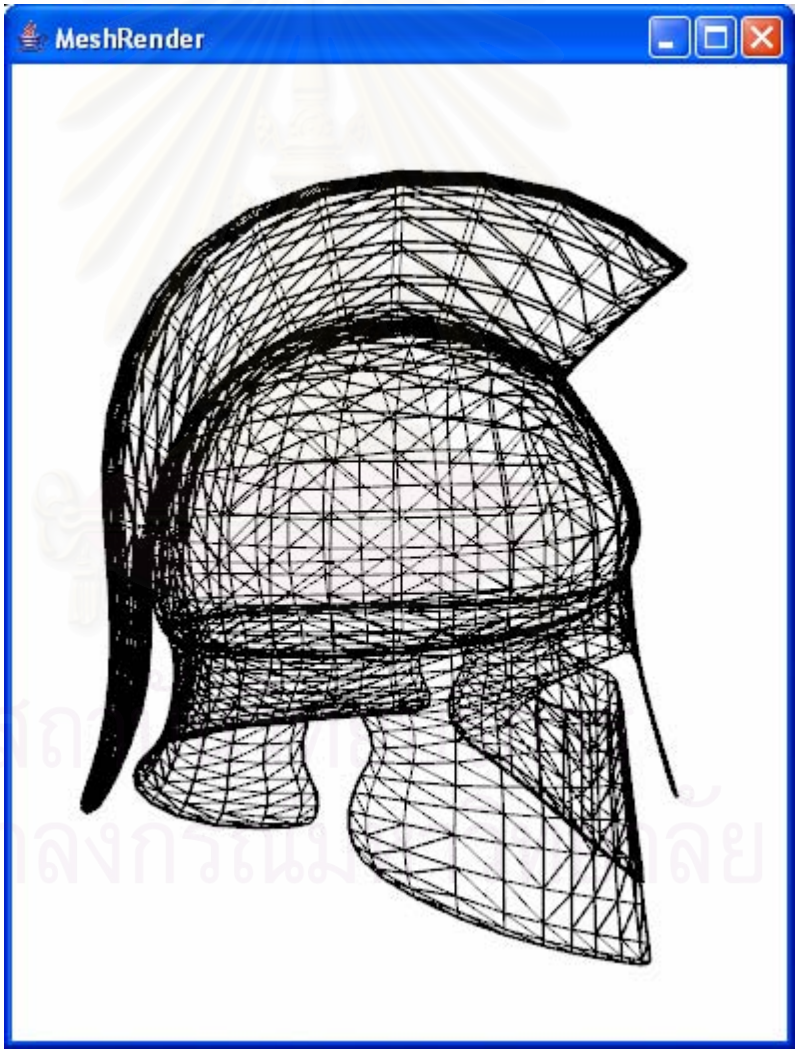
จะเห็นได้ว่าวิธีที่ใช้ทัศนวิสัยมาช่วยในกรณีที่รูปนั้นมีค่าทัศนวิสัยต่ำดังเช่นตาราง ที่6.3 จะทำให้การลดเมชมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะที่รูปที่มีค่าทัศนวิสัยสูงจะไม่ทำให้ผลดีขึ้นมากนักจนถึงไม่มีผลเลย ดังนั้นจึงทำให้เสียเวลาในการหาค่าทัศนวิสัยไป

6.2 ลักษณะข้อมูลที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้

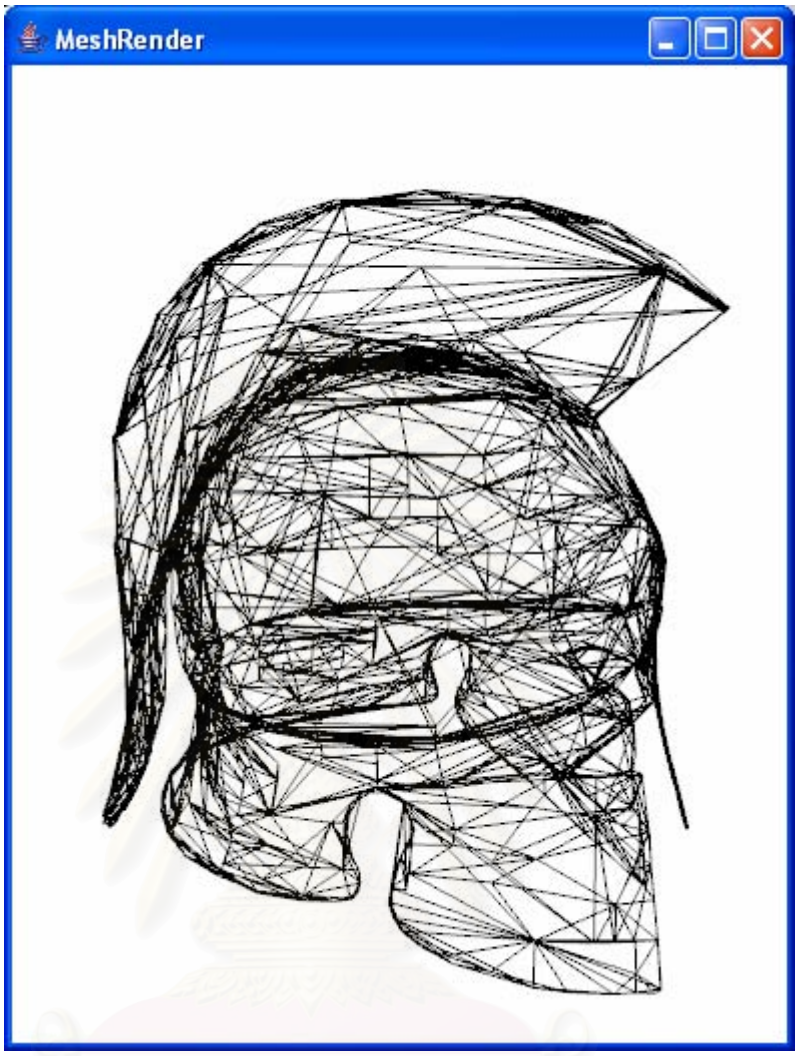
เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้การตรวจสอบค่าทัศนวิสัยร่วมกับการหาค่าน้ำหนัก ดังนั้นจะมีทั้งข้อมูลที่เหมาะสมกับไม่เหมาะสมกับวิธีนี้ โดยวิธีนี้จะเหมาะสมอย่างมากหากข้อมูลนั้นๆ เป็นดังต่อไปนี้

1. มีส่วนที่ถูกบดบังอยู่เป็นจำนวนมาก จะทำให้การตรวจสอบค่าทัศนวิสัยมีประสิทธิผลมากขึ้น เพราะจะสามารถลดทอนรายละเอียดส่วนที่ถูกบดบังไปได้ ทำให้ลักษณะข้อมูลที่ลดเมื่อมองจากผู้ใช้แล้ว จะไม่มีผลกระทบมากนัก และในขณะเดียวกันยังสามารถช่วยลดเวลาในการคำนวณค่าน้ำหนักอื่นๆลงไปได้ ในกรณีที่ตรวจสอบค่าทัศนวิสัยแล้วมีค่าเป็น 0 ซึ่งจะไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าน้ำหนักอีก

2. เป็นข้อมูลที่มีส่วนต่างระหว่างค่าน้ำหนักและค่าทัศนวิสัยของเส้นขอบภายในค่อนข้างสูง ซึ่งจะมีผลให้สามารถลบข้อมูลที่ไม่จำเป็นและคงส่วนข้อมูลที่จำเป็นเอาไว้ได้อย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 6.6 ตัวอย่างเมชที่มีเส้นขอบขนาดสม่ำเสมอ



รูปที่ 6.7 ตัวอย่างเมชที่มีเส้นขอบขนาดสม่ำเสมอหลังจากการถูกลดทอนรายละเอียด

3. เมชนั้นมีเส้นขอบขนาดสม่ำเสมอกันทั่วทั้งเมช เมื่อทำการลบเส้นขอบก็จะลบเส้นขอบได้อย่างสม่ำเสมอ เพราะการวิจัยนี้จะไม่มีการตรวจสอบความยาวของเส้นขอบ

6.3 ข้อจำกัดและแนวทางการวิจัยต่อ

จากการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบและทดลองวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้พบว่ายังมีส่วนที่ควรปรับปรุงเพื่อให้การลดทอนรายละเอียดของเมชมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้

- เมชที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดนี้ จะไม่คำนึงถึงแสงจากสภาพแวดล้อมต่างๆ ตลอดจนภาพของพื้นผิว ความโปร่งใสของวัตถุ เป็นต้น ดังนั้นหากต้องการให้ครอบคลุมจึงควรเพิ่มเติมการพัฒนาในส่วนของการตรวจสอบค่าทัศนวิสัย ยกตัวอย่างเช่น ประมวลผลโดยการใส่แสง หรือภาพพื้นผิวเพิ่มเข้าไป มีการเปรียบเทียบเมช ระหว่างก่อนและหลังการลดทอนรายละเอียด เป็นต้น

- เมชที่ใช้ในการลดทอนรายละเอียดนี้มีข้อจำกัดเรื่องขนาดของไฟล์ โดยที่ไฟล์ใหญ่เกินไปจะไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากข้อจำกัดของหน่วยความจำ จึงควรมีการเพิ่มเติมในส่วนของการจัดการข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ
- เมชที่ใช้มีจำนวนของรูปสามเหลี่ยมมากกว่าค่าสีทั้งหมดที่จะแสดงได้ในการหาค่าทัศนวิสัย ทำให้มีข้อมูลส่วนที่ไม่สามารถหาค่าทัศนวิสัยได้ จึงควรมีการเพิ่มเติมในส่วนของการแบ่งส่วนของเมช เพื่อทำการคำนวณไปทีละส่วน

- เมื่อใช้วิธีนี้กับข้อมูลที่มีค่าทัศนวิสัยสูงมาก คือไม่มีส่วนใดถูกบังเลย จะทำให้วิธีนี้เสียเวลาในการคำนวณมากกว่าวิธีที่ไม่ใช้การหาค่าทัศนวิสัย เนื่องจากงานวิจัยนี้จะต้องมีการหาค่าทัศนวิสัยก่อนเสมอ โดยที่ผลการคำนวณจะได้เหมือนกันเสมอ (ในกรณีที่ใช้วิธีหาเส้นขอบด้วยวิธีเดียวกัน) แต่เพราะมีการหาค่าทัศนวิสัยทำให้เสียเวลาในส่วนนี้ก่อนเสมอ

- ไม่ได้ผลดีกับวัตถุที่มีเส้นขอบคมจำนวนมาก หรือมีแต่เส้นขอบคม ซึ่งจะทำให้ต้องลดข้อมูลในจุดที่สำคัญๆ ซึ่งจะส่งผลให้ผลการลดทอนข้อมูลไม่ดีนัก

6.4 **สรุปผลการวิจัย**

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอการลดทอนรายละเอียดของเมชเพื่อนำไปแสดงผลบนโทรศัพท์ไร้สาย โดยใช้เทคนิคการตรวจสอบทัศนวิสัยและการตรวจสอบลักษณะเด่นของเมชมาประยุกต์ใช้ โดยการประมวลผลภาพจะคำนึงถึงเฉพาะโครงร่างและสีของเมชเท่านั้น และเมชที่ใช้ต้องมีขนาดไม่เกิน 5 เมกกะไบท์ ในการตรวจสอบทัศนวิสัยจะใช้วิธีประมวลผลภาพไปรอบๆเมช โดยตรวจสอบว่ามีรูปสามเหลี่ยมใดที่ถูกแสดงผลออกมาบนภาพนั้นๆ ถ้าถูกแสดงผลออกมามากจะแสดงว่ารูปสามเหลี่ยมนั้นมีค่าทัศนวิสัยมาก หลังจากนั้นจะนำเมชไปหาค่าลักษณะเด่น โดยตรวจค่าลักษณะเด่นตามเส้นขอบของเมช จากนั้นนำค่าทัศนวิสัยกับค่าลักษณะเด่นมาคำนวณหาค่าน้ำหนักสุดท้ายของแต่ละเส้นขอบ แล้วทำการลบเส้นขอบตามค่าน้ำหนัก โดยลบเส้นขอบที่มีค่าน้ำหนักหรือความสำคัญน้อยที่สุดก่อน จนกระทั่งได้ความละเอียดของเมชตามที่ต้องการ

โดยวิธีนี้สามารถทำให้ลดทอนรายละเอียดของเมชได้รวดเร็ว และยังสามารถเก็บรายละเอียดของเมชได้โดยที่ไม่ต่างจากรูปต้นแบบมากนัก

รายการอ้างอิง

1. H. Hoppe. New quadric metric for simplifying meshes with appearance distributes. IEEE Visualization (1999) : 59-66.
2. H. Hoppe. Progressive meshes. ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics (1996) : 99-108.
3. P. Lindsstrom and G. Turk. Evaluation of Memoryless Simplification. IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics (1999) : 98-155.
4. M. Garland and P. Heckbert. Surface Simplification Using Quadric Error Metrics. SIGGRAPH97, (1997) : 24-32.
5. M. Ko and Y. Choy. 3D Mesh Simplification for Effective Network Transmission. IEEE 2002 (2002) : 284-288.
6. M. Garland, A. Willmott, and P. S. Heckbert. Hierarchical Face Clustering on Polygonal Surfaces. ACM Interactive 3D Graphics 2001 Conference Proceedings (2001) : 49-58.
7. C. Fahn, H. Chen, Y. Shiau. Polygonal Mesh Simplification with Face Color and Boundary Edge Preservation Using Quadric Error Metric. IEEE Fourth International Symposium on Multimedia Software Engineering, 2002.
8. B. Chen and T. Nishita. An Efficient Mesh Simplification Method with Feature Detection for Unstructured Meshes and Web Graphics, IEEE Visualization, 2002 .
9 E. and G.Turk. Visibility-Guided Simplification. IEEE Visualization 2002 (2002) : 267-274.
10. J.D. Cohen. Concepts and Algorithms for Polygonal Simplification, SIGGRAPH 99, 1999.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

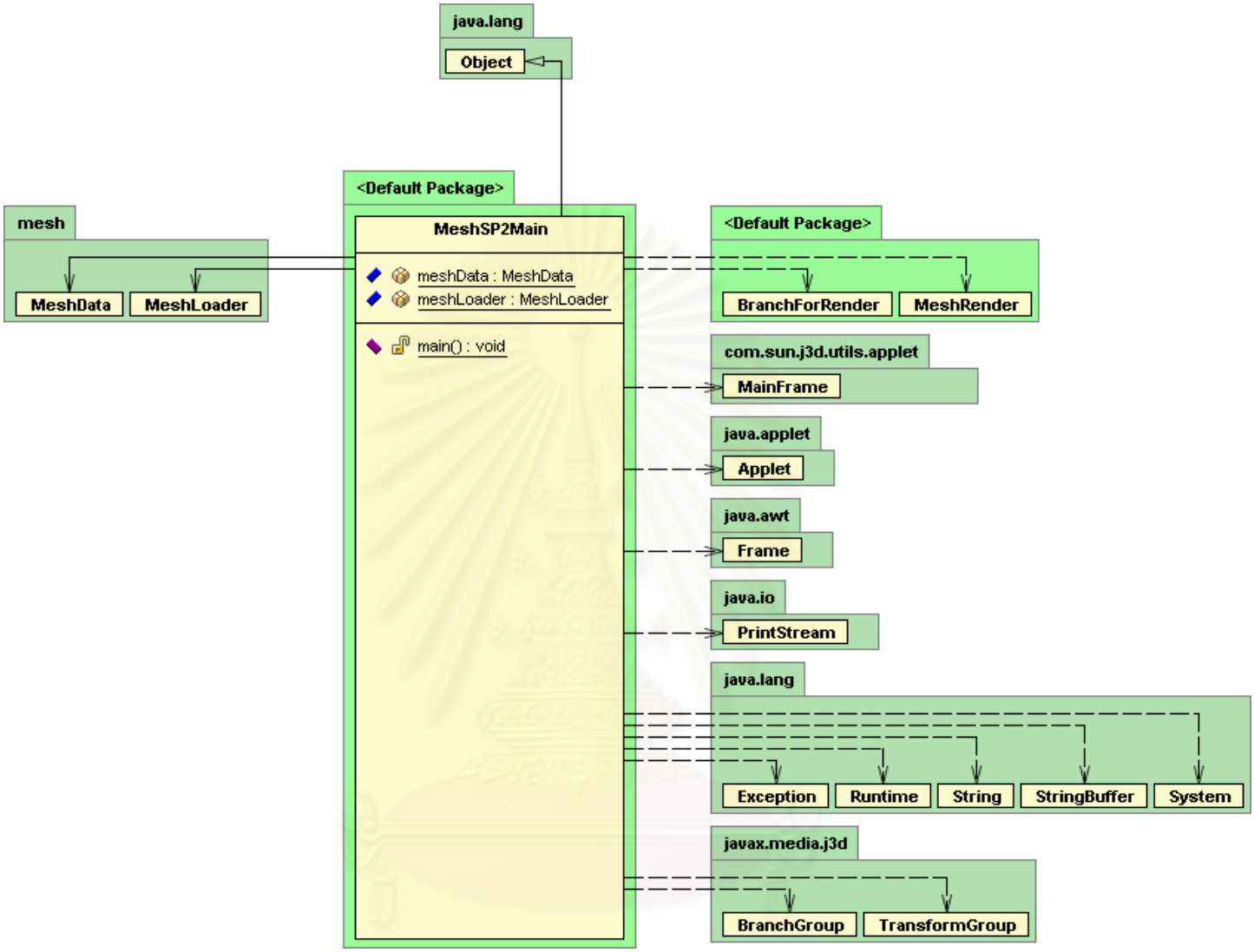
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

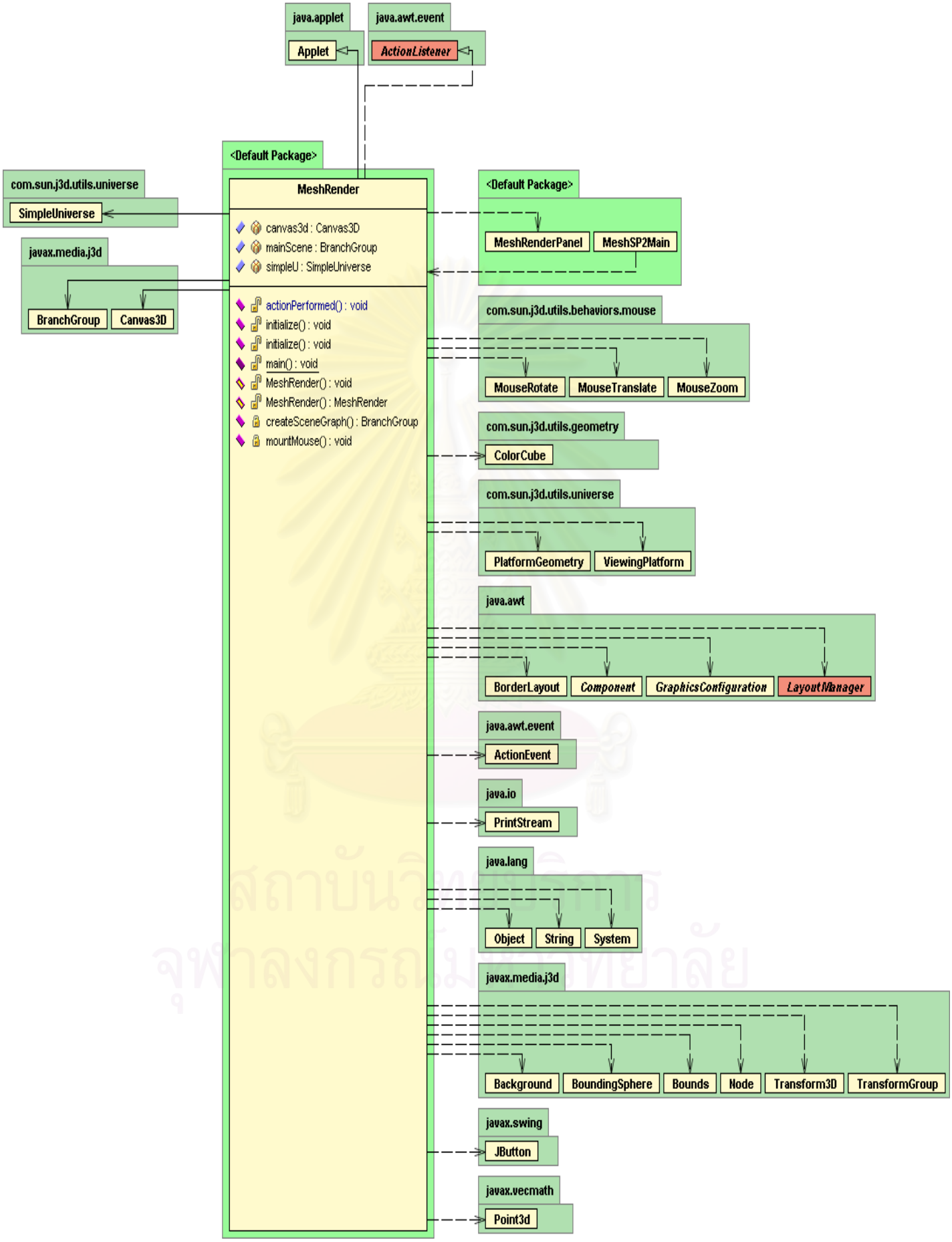
แผนผังคลาส

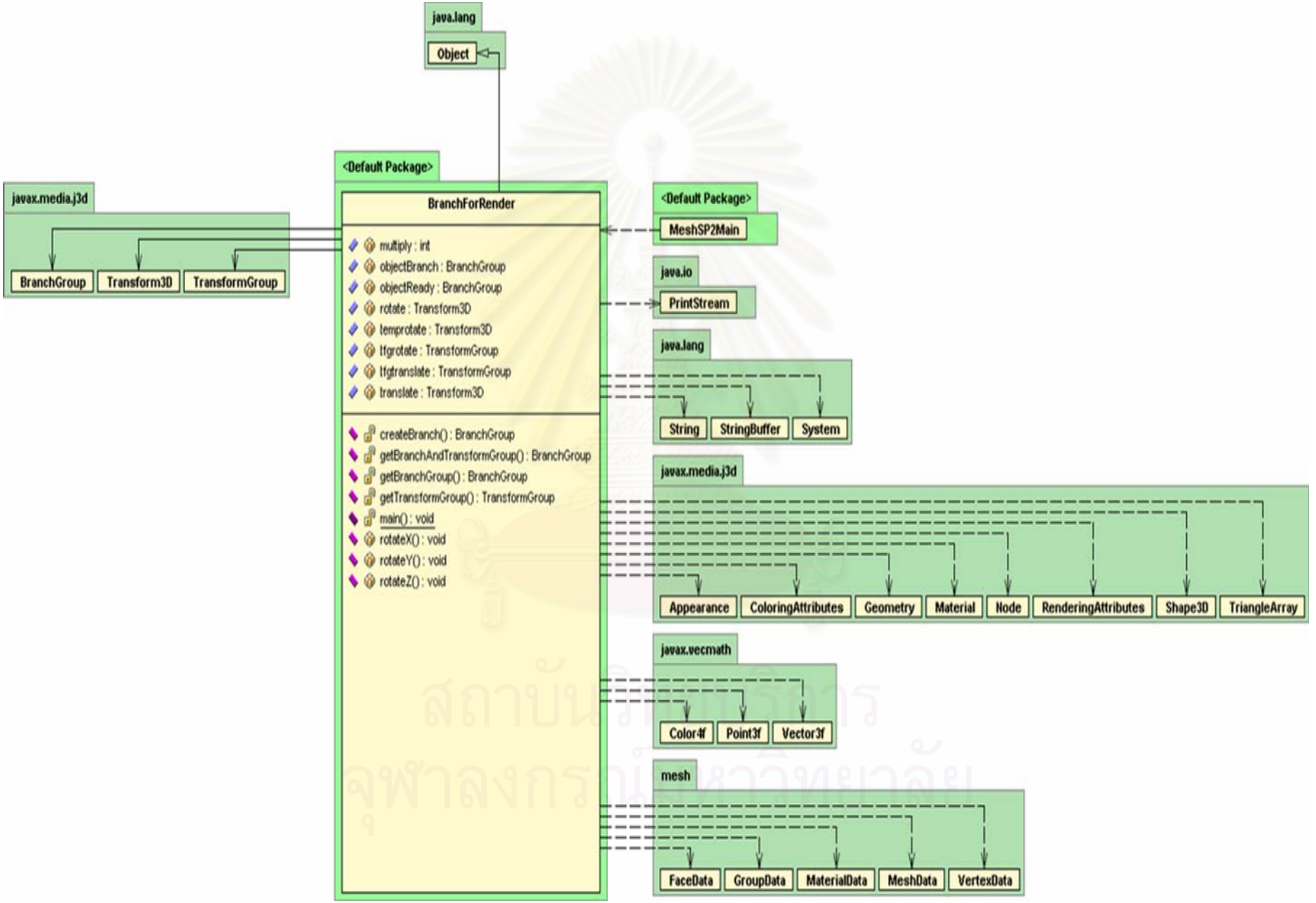
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

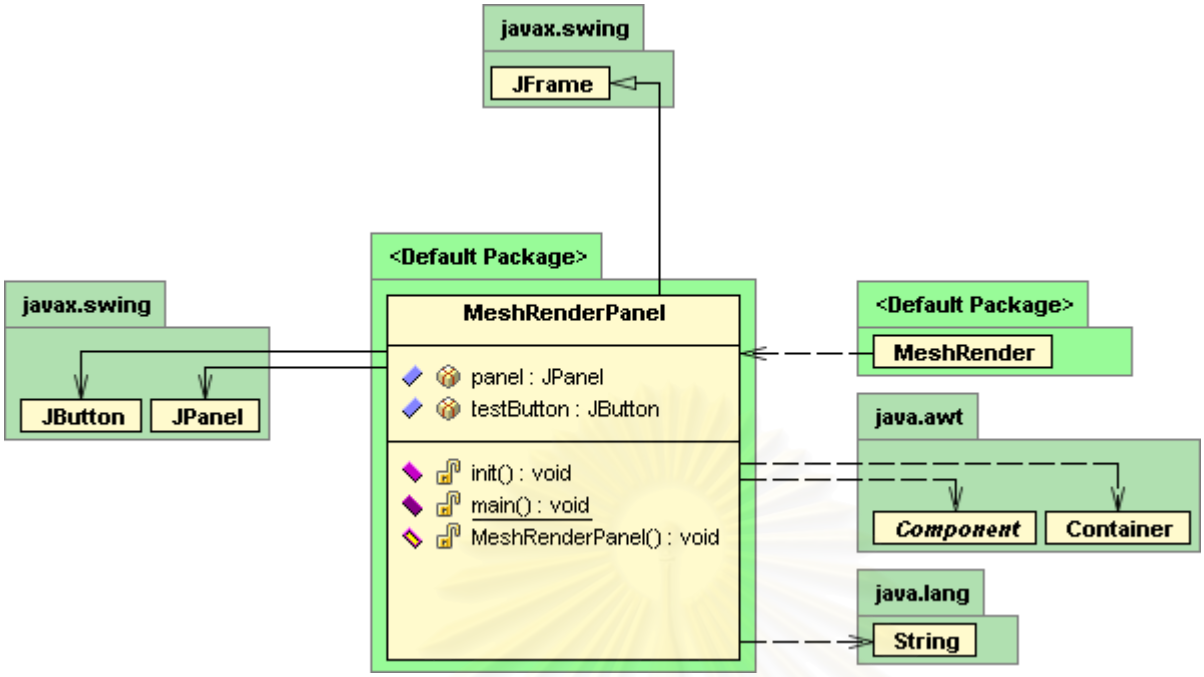
โปรแกรม MeshSP2



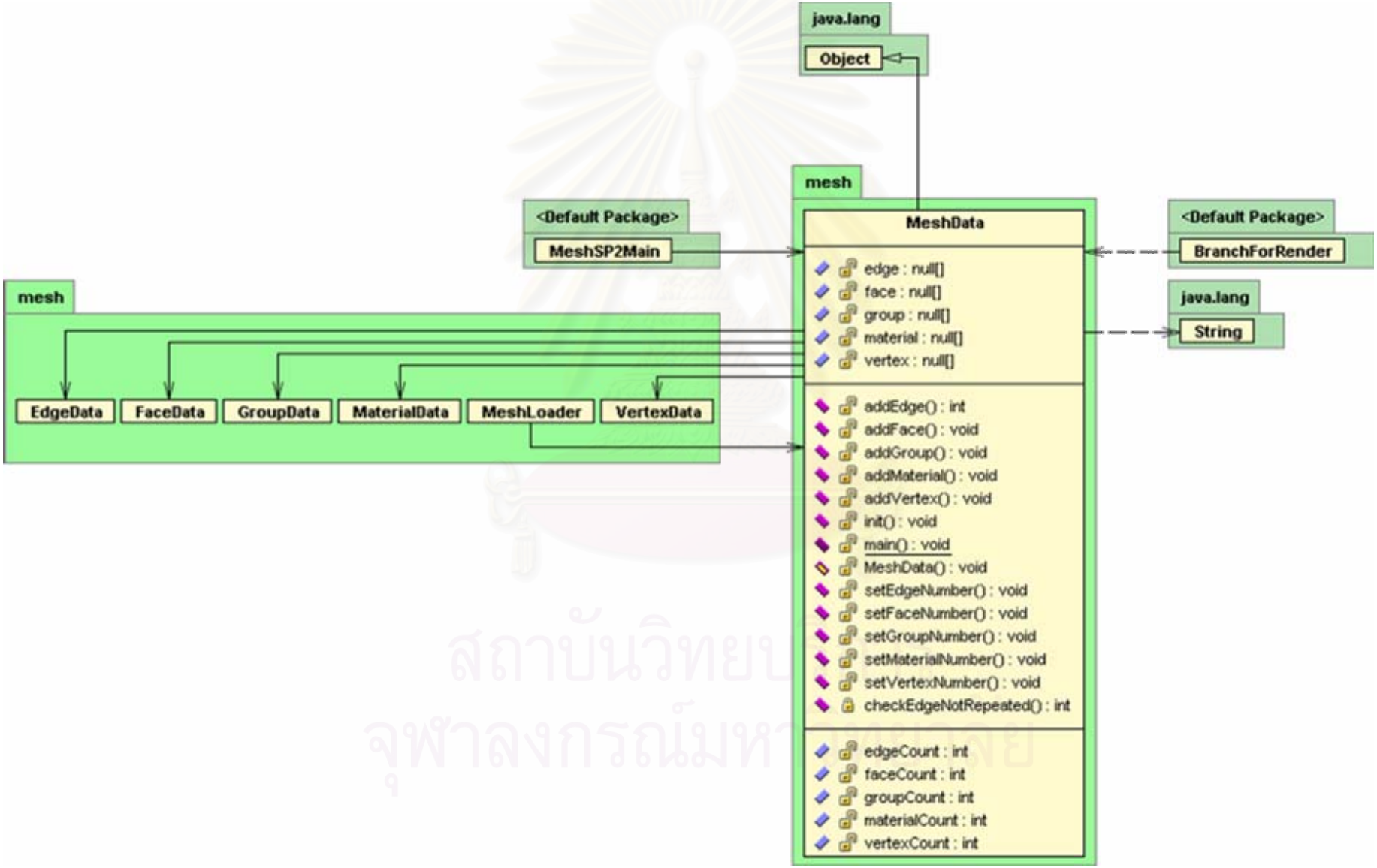
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

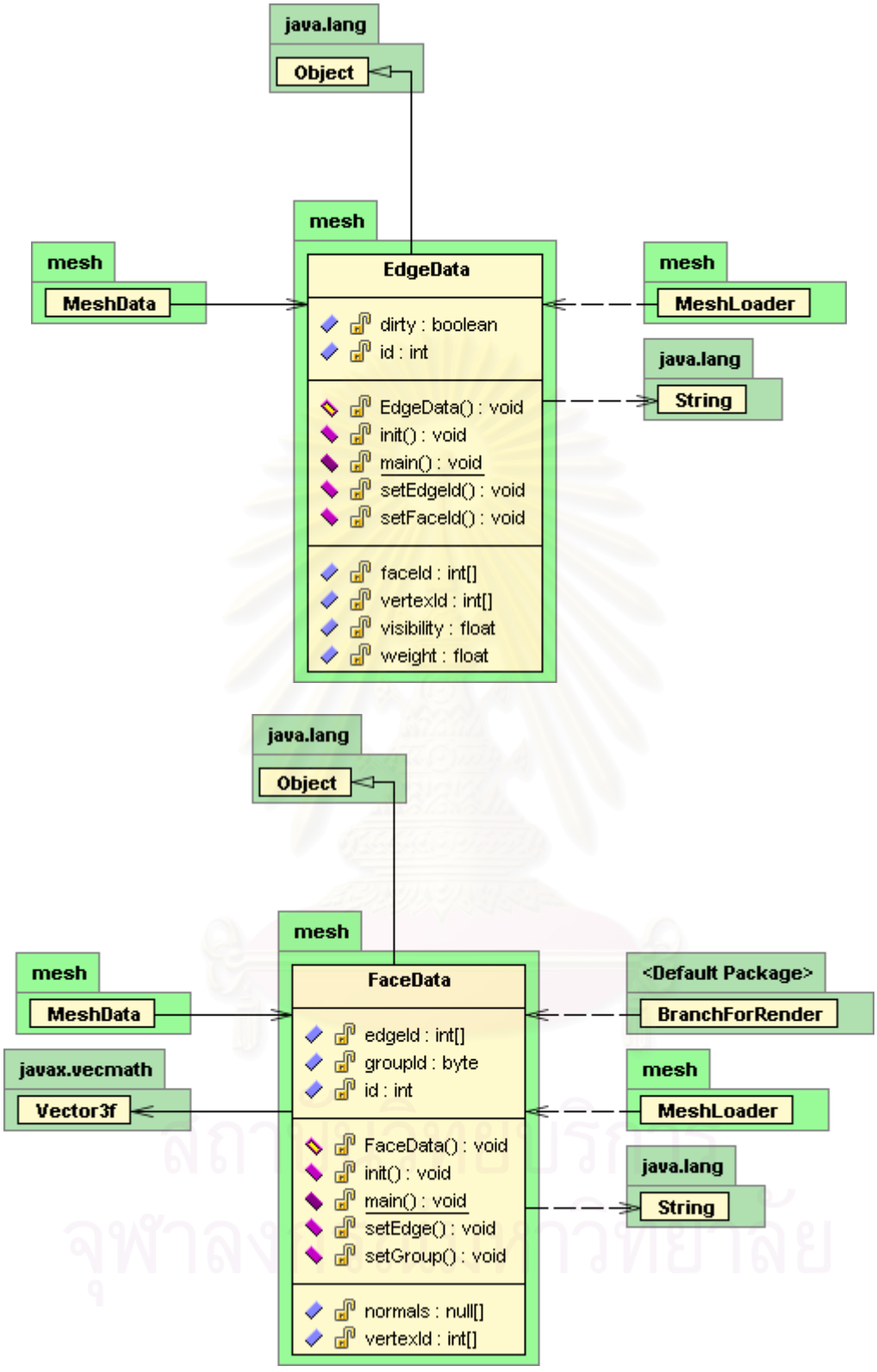

java.applet
Applet
java.awt.event
ActionListener
<Default Package>
MeshRender
canvas3d : Canvas3D
mainScene : BranchGroup
simpleU : SimpleUniverse
actionPerformed() : void
initialize() : void
initialize() : void
main() : void
MeshRender() : void
MeshRender() : MeshRender
createSceneGraph() : BranchGroup
mountMouse() : void
com.sun.j3d.utils.universe
SimpleUniverse
javax.media.j3d
BranchGroup
Canvas3D
<Default Package>
MeshRenderPanel
MeshSP2Main
com.sun.j3d.utils.behaviors.mouse
MouseRotate
MouseTranslate
MouseZoom
com.sun.j3d.utils.geometry
ColorCube
com.sun.j3d.utils.universe
PlatformGeometry
ViewingPlatform
java.awt
BorderLayout
Component
GraphicsConfiguration
LayoutManager
java.awt.event
ActionEvent
java.io
PrintStream
java.lang
Object
String
System
javax.media.j3d
Background
BoundingSphere
Bounds
Node
Transform3D
TransformGroup
javax.swing
JButton
javax.vecmath
Point3d

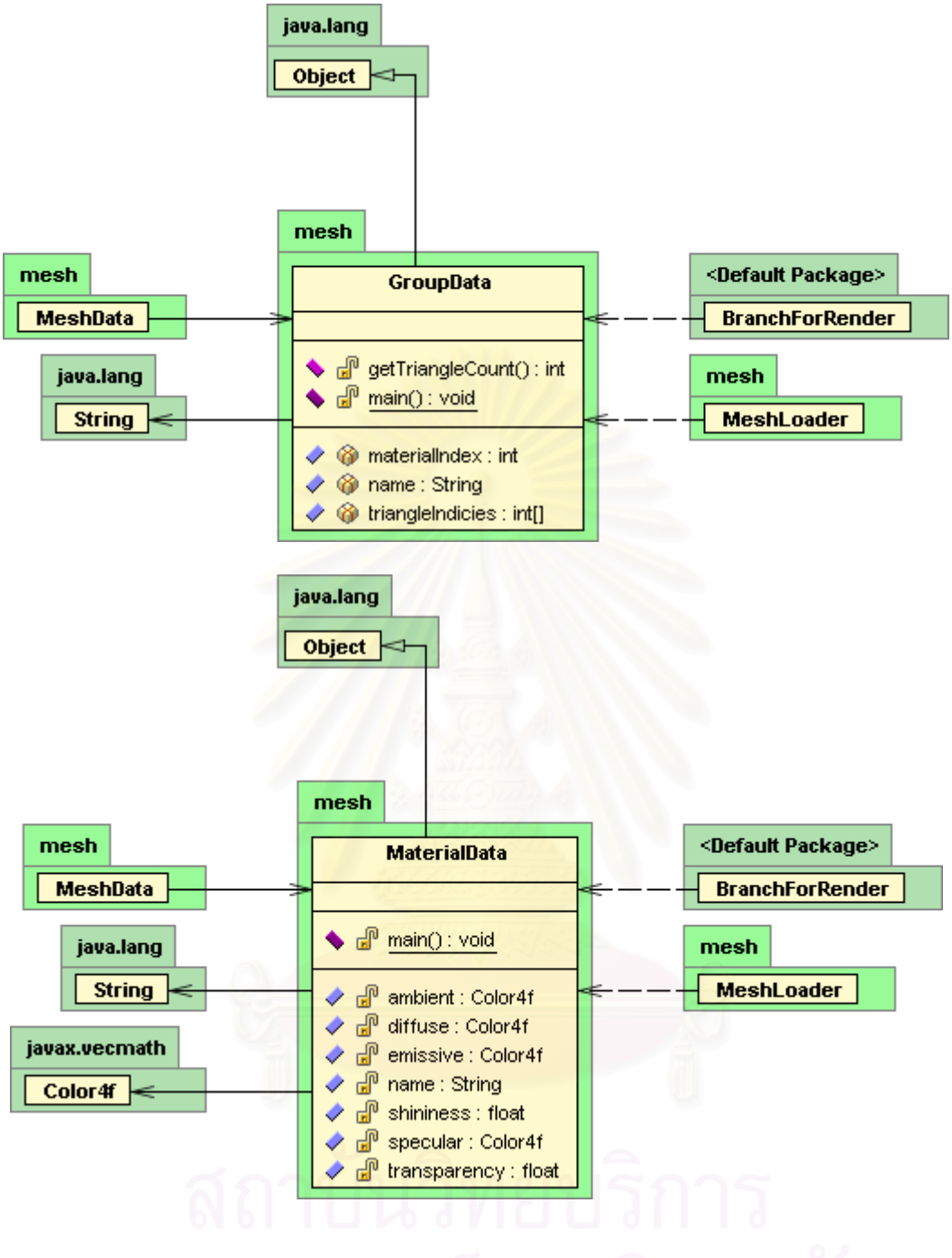

java.lang
Object
<Default Package>
BranchForRender
multiply : int
objectBranch : BranchGroup
objectReady : BranchGroup
rotate : Transform3D
temprotate : Transform3D
tfgrotate : TransformGroup
tfgtranslate : TransformGroup
translate : Transform3D
createBranch() : BranchGroup
getBranchAndTransformGroup() : BranchGroup
getBranchGroup() : BranchGroup
getTransformGroup() : TransformGroup
main() : void
rotateX() : void
rotateY() : void
rotateZ() : void
javax.media.j3d
BranchGroup
Transform3D
TransformGroup
<Default Package>
MeshSP2Main
java.io
PrintStream
java.lang
String
StringBuffer
System
javax.media.j3d
Appearance
ColoringAttributes
Geometry
Material
Node
RenderingAttributes
Shape3D
TriangleArray
javax.vecmath
Color4f
Point3f
Vector3f
mesh
FaceData
GroupData
MaterialData
MeshData
VertexData



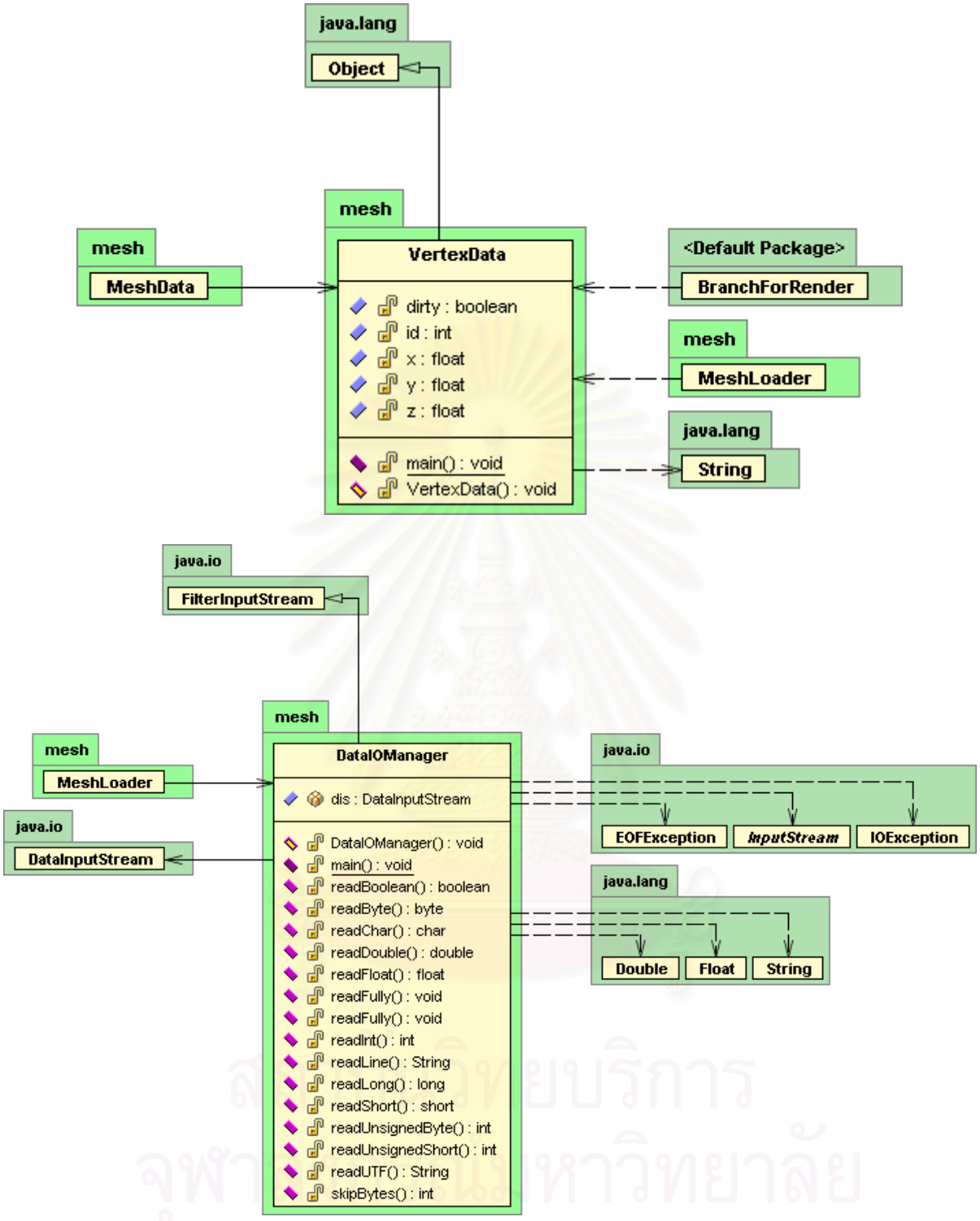
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

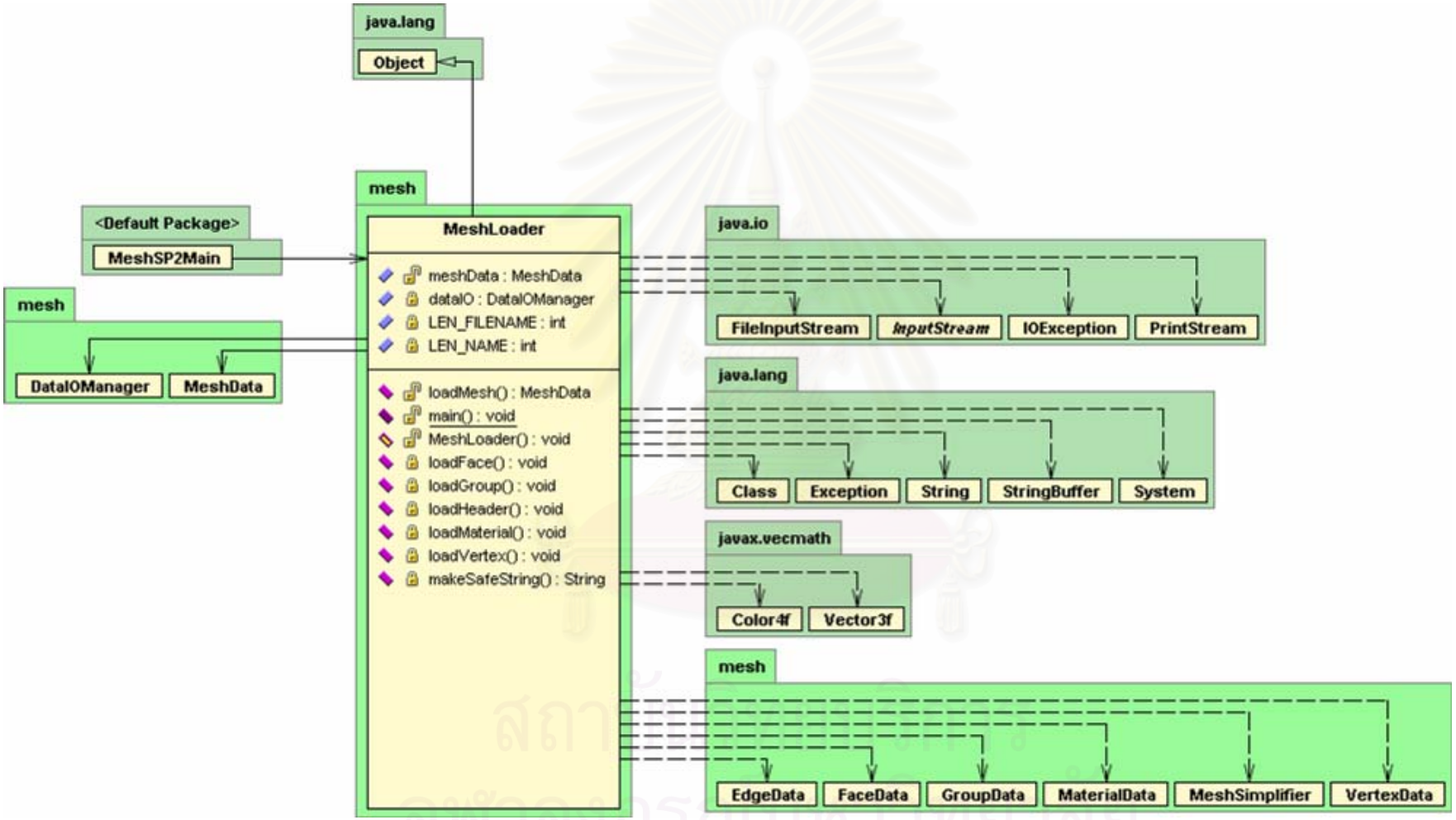

java.lang
Object
mesh
<Default Package>
MeshSP2Main
MeshData
edge : null[]
face : null[]
group : null[]
material : null[]
vertex : null[]
addEdge() : int
addFace() : void
addGroup() : void
addMaterial() : void
addVertex() : void
init() : void
main() : void
MeshData() : void
setEdgeNumber() : void
setFaceNumber() : void
setGroupNumber() : void
setMaterialNumber() : void
setVertexNumber() : void
checkEdgeNotRepeated() : int
edgeCount : int
faceCount : int
groupCount : int
materialCount : int
vertexCount : int
<Default Package>
BranchForRender
java.lang
String
mesh
EdgeData
FaceData
GroupData
MaterialData
MeshLoader
VertexData

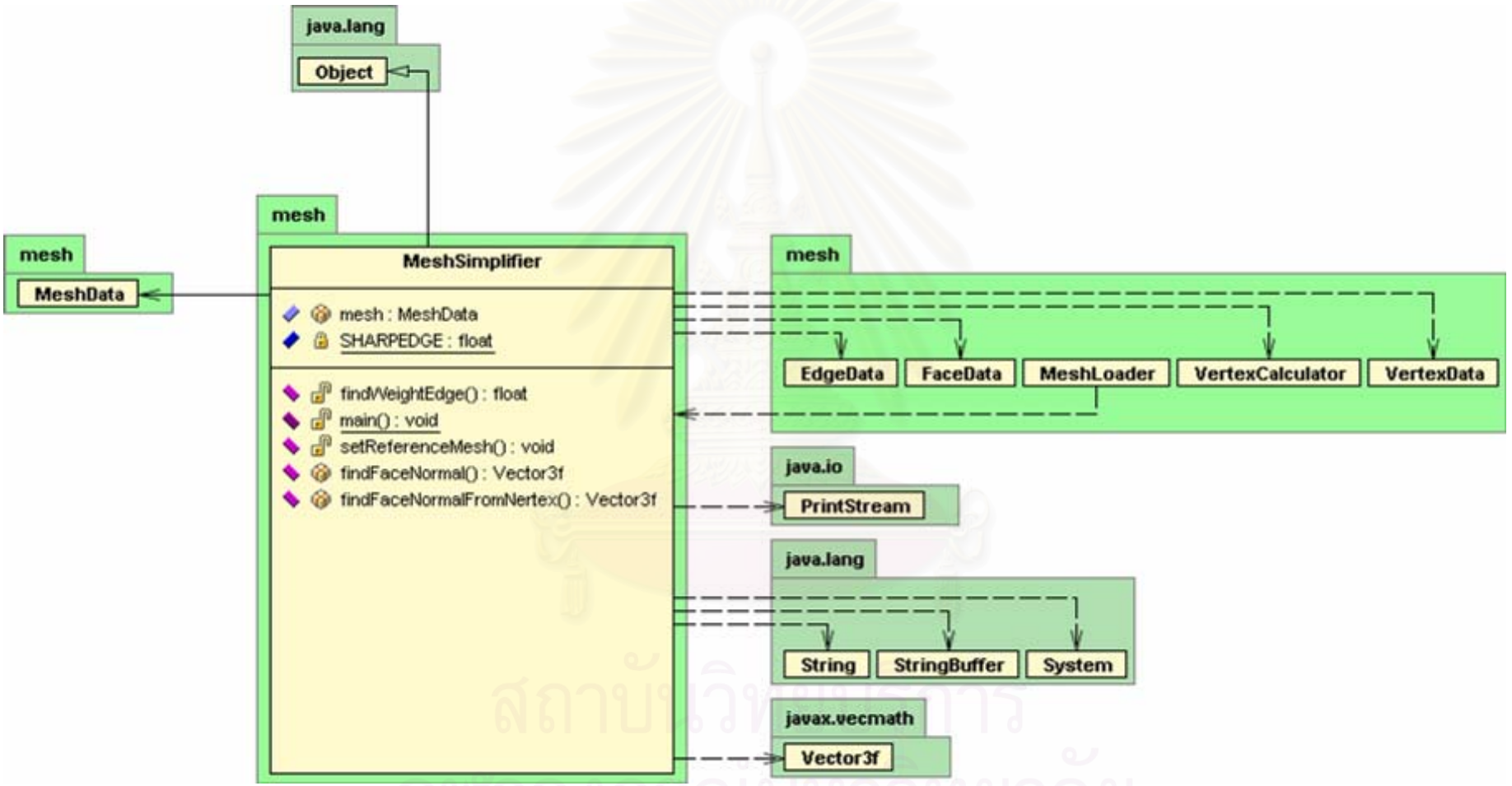

java.lang
Object
mesh
EdgeData
dirty : boolean
id : int
EdgeData() : void
init() : void
main() : void
setEdgeId() : void
setFaceId() : void
faceId : int[]
vertexId : int[]
visibility : float
weight : float
mesh
MeshData
mesh
MeshLoader
java.lang
String
java.lang
Object
mesh
FaceData
edgeId : int[]
groupId : byte
id : int
FaceData() : void
init() : void
main() : void
setEdge() : void
setGroup() : void
normals : null[]
vertexId : int[]
mesh
MeshData
javax.vecmath
Vector3f
<Default Package>
BranchForRender
mesh
MeshLoader
java.lang
String

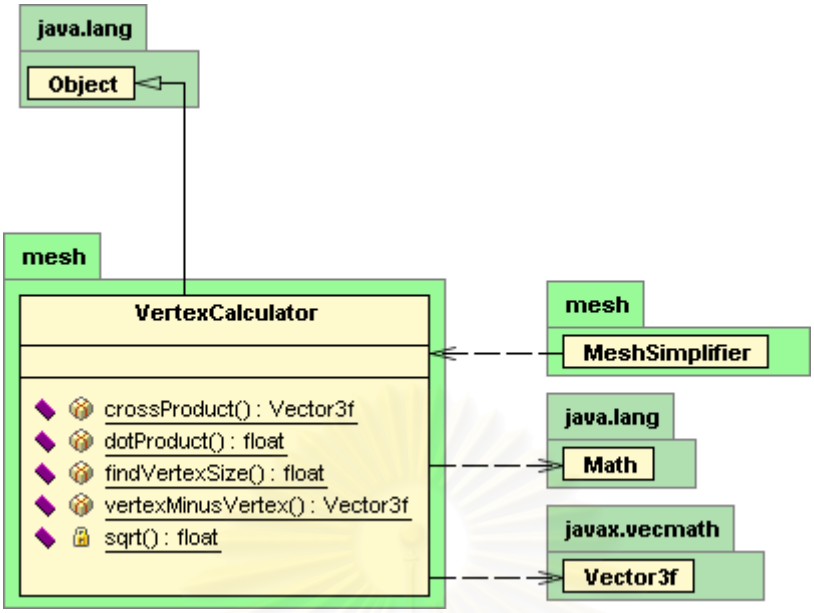


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


java.lang
Object
mesh
VertexData
dirty : boolean
id : int
x : float
y : float
z : float
main() : void
VertexData() : void
mesh
MeshData
<Default Package>
BranchForRender
mesh
MeshLoader
java.lang
String
java.io
FilterInputStream
mesh
DataIOManager
dis : DataInputStream
DataIOManager() : void
main() : void
readBoolean() : boolean
readByte() : byte
readChar() : char
readDouble() : double
readFloat() : float
readFully() : void
readFully() : void
readInt() : int
readLine() : String
readLong() : long
readShort() : short
readUnsignedByte() : int
readUnsignedShort() : int
readUTF() : String
skipBytes() : int
mesh
MeshLoader
java.io
DataInputStream
java.io
EOFException
InputStream
IOException
java.lang
Double
Float
String

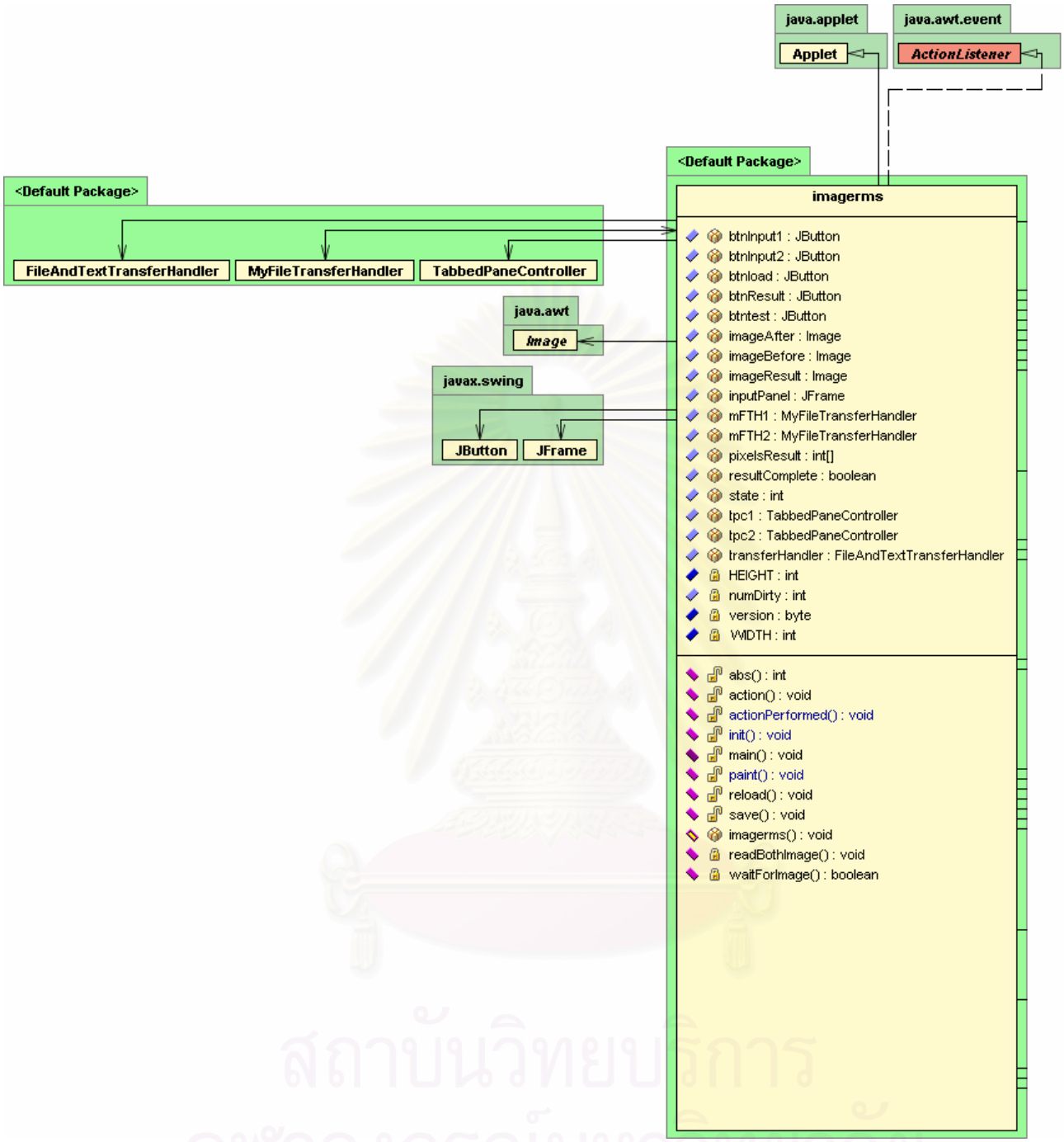

java.lang
Object
mesh
MeshLoader
meshData : MeshData
dataIO : DataIOManager
LEN_FILENAME : int
LEN_NAME : int
loadMesh() : MeshData
main() : void
MeshLoader() : void
loadFace() : void
loadGroup() : void
loadHeader() : void
loadMaterial() : void
loadVertex() : void
makeSafeString() : String
<Default Package>
MeshSP2Main
mesh
DataIOManager
MeshData
java.io
FileInputStream
InputStream
IOException
PrintStream
java.lang
Class
Exception
String
StringBuffer
System
javax.vecmath
Color4f
Vector3f
mesh
EdgeData
FaceData
GroupData
MaterialData
MeshSimplifier
VertexData


java.lang
Object
mesh
MeshSimplifier
mesh : MeshData
SHARPEDGE : float
findWeightEdge() : float
main() : void
setReferenceMesh() : void
findFaceNormal() : Vector3f
findFaceNormalFromNertex() : Vector3f
mesh
MeshData
mesh
EdgeData
FaceData
MeshLoader
VertexCalculator
VertexData
java.io
PrintStream
java.lang
String
StringBuffer
System
javax.vecmath
Vector3f

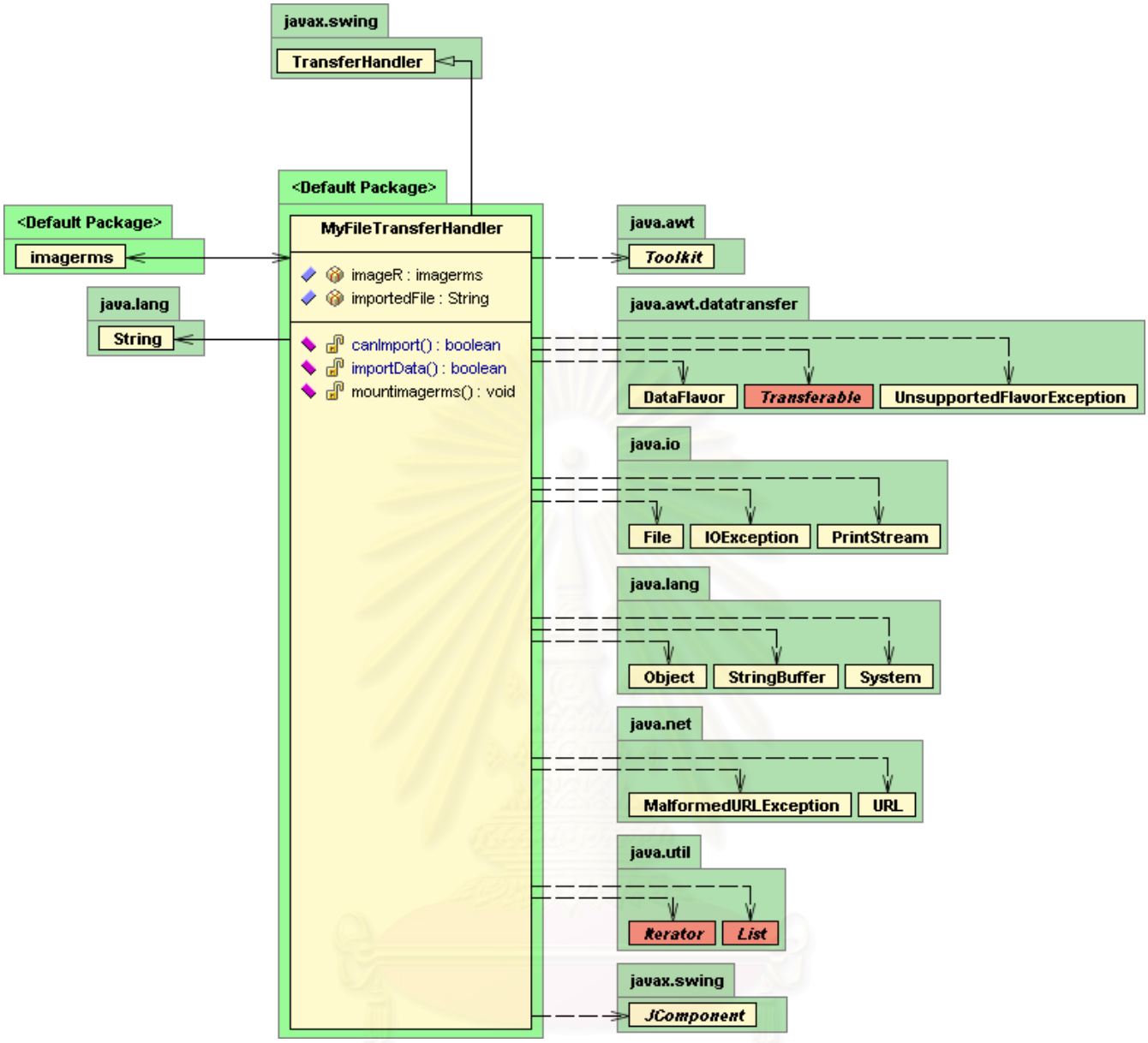


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรม **imagerms**



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปรัชญา กอไพศาล เกิดเมื่อวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545

ที่อยู่ปัจจุบันที่สามารถติดต่อได้คือ บ้านเลขที่ 89/157 ซอย7/5 หมู่บ้านชัยพฤกษ์ แขวงบางไผ่ เขตบางแค กรุงเทพฯ 10160 หมายเลขโทรศัพท์ +66 28870022 อีเมล์ mr_prachya@hotmail.com

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย